



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares
asociados a pitahayas nativas y exótica
(*Hylocereus* spp.) en San Martín, Perú**

Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Jhoon Gerly Heredia Montalvo

<https://orcid.org/0000-0002-0278-9063>

Asesor:

Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin

<https://orcid.org/0000-0001-6027-4255>

Co-asesor:

Blgo. Angel David Hernández Amasifuen

<https://orcid.org/0000-0001-8267-409X>

Tarapoto, Perú

2023



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMÍA

Tesis

**Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares
asociados a pitahayas nativas y exótica
(*Hylocereus* spp.) en San Martín, Perú**

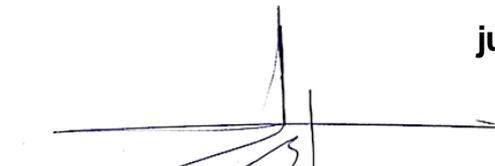
Para optar el título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Jhoon Gerly Heredia Montalvo

Sustentado y aprobado 19 de diciembre del 2023 por los siguientes

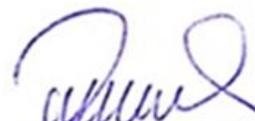
jurados:



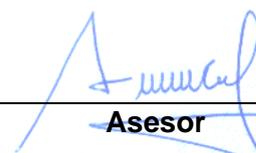
Presidente de Jurado
Dr. Agustín Cerna Mendoza



Secretario de Jurado
Dr. Geomar Vallejos Torres



Vocal de Jurado
Dr. Ana Noemí Sandoval Vergara



Asesor
Ing. M. Sc. Mike Anderson
Corazon Guivin



Co-asesor
Blgo. Angel David Hernández
Amasifuen

Tarapoto, Perú

2023



"Año de la Unidad, la paz y el desarrollo"

ACTA DE SUSTENTACIÓN

Para optar el Título de Ingeniero Agrónomo Modalidad Informe de Tesis

En la Universidad Nacional de San Martín, Auditorio de la Facultad de Ciencias Agrarias Ciudad Universitaria, a las 10:10 horas, del día 19 del mes de diciembre del año dos mil veintitrés, se reunió el Jurado de Tesis, integrado por:

PRESIDENTE : Dr. Agustín Cerna Mendoza
SECRETARIO : Dr. Geomar Vallejos Torres
VOCAL : Dra. Ana Noemí Sandoval Vergara
ASESOR : Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin
CO-ASESOR : Blgo. Angel David Hernández Amasifuen

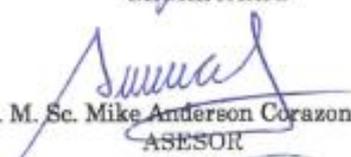
Para evaluar el Informe de tesis titulado: "Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a pitahayas nativas y exótica (*Hylocereus* spp.) en San Martín, Perú", Presentado por el Bachiller en Ciencias Agrarias: **JHOON GERLY HEREDIA MONTALVO**.

Los Miembros de Jurado del Informe de tesis, después de haber observado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica, luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran aprobado con el calificativo de Muy bueno, en fe de lo cual se firmó la presente acta, siendo las 11:30 am horas del mismo día, dándose por terminado el acto de sustentación.


Dr. Agustín Cerna Mendoza
PRESIDENTE


Dr. Geomar Vallejos Torres
SECRETARIO


Dra. Ana Noemí Sandoval Vergara
VOCAL


Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazon Guivin
ASESOR


Blgo. Angel David Hernández Amasifuen
Co-Asesor


Jhoon Gerly Heredia Montalvo
SUSTENTANTE

RECIBIDO POR:

Jhoon Gerly Heredia Montalvo

DNI N.º 71067193

FECHA:

19/12/2023

Declaratoria de autenticidad

Jhoon Gerly Heredia Montalvo, con DNI N° 71067143, egresado de la Escuela Profesional de Agronomía, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a pitahayas nativas y exótica (*Hylocereus* spp.) en San Martín, Perú.

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencia de las fuentes bibliográficas consultadas, siguiendo las normas APA actuales.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumimos bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 19 de diciembre de 2023



Jhoon Gerly Heredia Montalvo
D.N.I. 71067143

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto</p> <p>Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a pitahayas nativas y exótica (<i>Hylocereus</i> spp.) en San Martín, Perú</p>	<p>Área de investigación: Ciencias Agrarias</p> <p>Línea de investigación: Conservación de recurso genéticos y biotecnología.</p> <p>Sublínea de investigación: Manejo y conservación de la biodiversidad.</p> <p>Grupo de investigación: Genética, biodiversidad y biotecnología. R.D. N°041-2022</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Básica <input type="checkbox"/> Aplicada <input checked="" type="checkbox"/>, Desarrollo experimental <input type="checkbox"/></p>
<p style="text-align: center;">Autor: Jhoon Gerly Heredia Montalvo</p>	<p>Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía https://orcid.org/0000-0002-0278-9063</p>
<p style="text-align: center;">Asesor: Ing. M. Sc. Mike Anderson Corazón Guivin</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio Agronomía https://orcid.org/0000-0001-6027-4255</p>
<p style="text-align: center;">Co-asesor: Blgo. Angel David Hernández Amasifuen</p>	<p>Contraparte científica: Facultad o Institución: Facultad de Ciencias agrarias Unidad o Laboratorio: Laboratorio de Biología y Genética Molecular País: Perú https://orcid.org/0000-0001-8267-409X</p>

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres Andrés Heredia Soto y Marnelly Montalvo Guerrero, que, con su paciencia y apoyo incondicional me permitieron poder desarrollar una confianza inquebrantable y cumplir todos mis objetivos, así mismo poder seguir cumpliendo las metas trazadas dentro de mi vida profesional.

A mis hermanas Jheyne Lucero Heredia Montalvo y Mayreli Daliana Heredia Montalvo por todo su apoyo incondicional y siempre estar alentándome a seguir adelante.

A todos mis amigos y colegas pertenecientes al Laboratorio de Biología y genética Molecular, que me recibieron con gran alegría, permitiéndome ser parte de un gran equipo de trabajo dedicado a la investigación.

Agradecimientos

A la facultad de Ciencias Agrarias por haberme formado profesionalmente dentro de sus aulas y brindarme una enseñanza de calidad mediante todos los docentes pertenecientes a esta gran institución.

Al Ing. M. Sc Mike Anderson Corazon Guivin por su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo del presente proyecto de investigación.

Al Blgo. Ángel David Hernández Amasifuén, por su apoyo y asesoramiento durante el desarrollo del presente proyecto.

Al Dr. Santos Caballar Hernández por su enseñanza y apoyo en el desarrollo de mi proyecto de tesis.

A la Ingeniera Biotecnóloga María Nelly Pezo Torres, por aportar muchos conocimientos mediante sus enseñanzas, para el desarrollo y ejecución de este proyecto.

A todos los integrantes del Laboratorio de Biología y Genética Molecular por su apoyo, sugerencias y gran acogimiento dentro del excelente equipo de trabajo.

A los miembros de mi jurado revisor de tesis Dr. Agustín Cerna Mendoza, Dr. Geomar Vallejos Torres, Dr. Ana Noemí Sandoval Vergara; por todas las sugerencias realizadas con el fin de mejorar el desarrollo y ejecución de la investigación.

Índice general

Declaratoria de autenticidad.....	3
Ficha de identificación.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimientos.....	8
Índice general.....	9
Índice de tablas.....	11
Resumen.....	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN.....	16
1.1. Planteamiento del marco general del problema.....	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	18
2.1. Antecedentes de la investigación.....	18
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
3.1. Ámbito de la investigación.....	25
3.1.1. Ubicación política.....	25
3.1.3. Periodo de ejecución.....	29
3.1.4. Autorización y permisos.....	29
3.1.5. Colección de muestras.....	29
3.1.6. Uso de KOH.....	29
3.1.7. Control ambiental y protocolos de seguridad.....	29
3.1.8. Aplicación de principios éticos internacionales.....	29
3.2.1. Variables principales.....	29
3.3. Procedimiento de la investigación.....	30
3.3.1. Identificar morfológicamente las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.....	30

3.3.2. Comparación de la estructura comunitaria que presentan los HMA en pitahayas nativas y exóticas en las diferentes condiciones edáficas de San Martín.....	35
3.3.3. Determinación del porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahaya nativa y exóticas.....	36
3.4. Análisis de datos.	37
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Identificación morfológica de las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.....	38
4.2. Comparación de estructura comunitaria de los HMA en pitahayas nativas y exóticas en las diferentes condiciones edáficas de San Martín.	43
4.3. Determinar el porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahayas nativas y exóticas.	61
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
ANEXOS.....	82

Índice de tablas

Tabla 1. Ubicación de localidades de muestreo para pitahaya exótica.....	25
Tabla 2. Ubicación de localidades de muestreo para pitahaya nativa en la región San Martín	26
Tabla 3. Especies de pitahayas exóticas muestreadas y región de procedencia.....	31
Tabla 4. Especies identificadas de HMA presentes en el cultivo de pitahaya nativa y exótica.....	38
Tabla 5. Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.....	43
Tabla 6. Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica	44
Tabla 7. Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica	45
Tabla 8. Análisis de varianza del Índice de Equitatividad de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica	46
Tabla 9. Análisis Post Hoc de Tukey del Índice de Equitatividad de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.	46
Tabla 10. Estimación de especies para pitahaya nativa y exótica.....	49
Tabla 11. Especies que afectan la composición de la comunidad de HMA.	52
Tabla 12. Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica según localidades muestreadas.....	55
Tabla 13. Análisis de Tukey para índice de riqueza de pitahaya exótica según localidades	55
Tabla 14. Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa según localidades muestreadas.....	55
Tabla 15. Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica.	56
Tabla 16. Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa.....	56
Tabla 17. Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica.	56
Tabla 18. Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa.....	57

Tabla 19. Análisis de varianza del Índice de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica	57
Tabla 20. Análisis de Tukey de pitahayas exóticas según localidad	57
Tabla 21. Análisis de varianza del Índice de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa.....	58
Tabla 22. Porcentaje de colonización según localidad.....	62
Tabla 23. Análisis de varianza (ANOVA) del porcentaje de colonizaciones de pitahaya nativas y exóticas.	62
Tabla 24. Análisis Post Hoc de Tukey del porcentaje de colonización	62
Tabla 25. Análisis de varianza de porcentaje de colonización de pitahayas exóticas según localidades.....	64
Tabla 26. Análisis de Tukey de pitahayas exóticas según localidades.....	64
Tabla 27. Análisis de varianza de porcentaje de colonización de pitahayas nativas según localidades.....	64
Tabla 28. Especies identificadas en pitahaya exótica.	82
Tabla 29. Especies identificadas en pitahaya nativa.....	86

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de muestras obtenidas de pitahayas exóticas	27
Figura 2. Ubicación geográfica de muestras obtenidas de pitahaya exótica.....	28
Figura 3. Proceso de colecta de muestras.	31
Figura 4. Proceso de tratamiento de muestras de suelo.....	32
Figura 5. Proceso de aislamiento de esporas de HMA;	33
Figura 6. Proceso de montaje de esporas	34
Figura 7. Proceso de cuantificación de esporas.....	35
Figura 8. Proceso de tinción de raíces	37
Figura 9. Diagrama de Venn mostrando las especies compartidas y exclusivas para los tipos de pitahaya.	40
Figura 10. Gradiente altitudinal de Pitahaya exótica.....	42
Figura 11. Gradiente altitudinal de Pitahaya nativa.....	42
Figura 12. Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya	48
Figura 13. Curva de rarefacción de especies para cada tipo de pitahaya.....	49
Figura 14. Análisis de correlación de Pearson de los parámetros fisicoquímicos de suelo con la riqueza (S) y densidad de esporas (SD)	51
Figura 15. Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) c.....	53
Figura 16. Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya nativa según localidad.....	60
Figura 17. Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya nativa según localidad.....	61
Figura 18. Gráfico de cajas del porcentaje de colonización entre los tipos de pitahaya ...	63
Figura 19. Porcentaje de colonización de pitahaya nativas en relación a localidades muestreadas	65
Figura 20. Porcentaje de colonización de pitahaya exóticas en relación a localidades muestreadas	65

Resumen

En el Perú se ha registrado el cultivo de *Hylocereus megalanthus*, *Hylocereus costaricensis* y *Hylocereus undatus*, siendo especies comerciales introducidas al territorio peruano. Al respecto se considera reciente el desarrollo y manejo agrícola de este cultivo dentro de la región San Martín y el país. Sin embargo, en la Región San Martín existen diversas accesiones de Pitahayas nativas en estado silvestre, que actualmente están siendo utilizadas como fuente de propagación para la implementar nuevas parcelas. Ante esto se observó el posible riesgo al tratar de cultivar estas plantas con fines productivos, debido a las condiciones requeridas para su adaptación, de esta manera surgió la necesidad de investigar la diversidad de hongos micorrizicos arbusculares (HMA), estos son microorganismos que se encuentran dentro del microbiota del suelo generando simbiosis con la mayoría de taxones botánicos. Además, a la actualidad, no existe información sobre la diversidad de HMA asociados a la familia *Cactáceae*, específicamente a pitahaya (*Hylocereus* spp.). El trabajo se inició colectando muestras de suelo rizosférico de distintos cultivos de pitahaya dentro de la región San Martín. Luego las esporas de hongos micorrizicos arbusculares fueron extraídas de las muestras de suelo y se determinó que las raíces de pitahaya nativa y exótica estuvieron colonizadas por estos microorganismos. Mediante tamizado húmedo del suelo se logró identificar a nivel morfológico un total de 37 especies en pitahaya nativa y 40 especies en pitahaya exótica, las cuales pertenecen a 17 géneros y 8 familias, siendo el género *Acaulospora* el más representativo. De acuerdo a los índices ecológicos evaluados, se observó que la pitahaya nativa presento una riqueza (S) de 5,0 y la pitahaya exótica una de 4,7; el índice de Shannon (H) obtenido fue de 1,01 en pitahaya nativa y 0,92 en pitahaya exótica, el índice de Simpson (D) obtenido en pitahaya exótica fue 0,51 y en pitahaya nativa fue 0,48. Al realizar un análisis de correlación, se identificó una correlación indirecta entre la diversidad de especies y las condiciones edáficas de las muestras obtenidas, esto significa que la riqueza aumenta si hay una concentración baja de fósforo (P), magnesio (Mg), calcio (Ca), potasio (K), saturación base (SB) y los niveles de potencial de hidrogeno (pH). Al realizar el análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) se determinó que las especies que alteran la comunidad estructural de HMA *Acaulospora rehmsii*, *Ambispora fennica* *Dominikia aurea* y *Glomus glomerolatum*, esto posiblemente a diferentes factores edafoclimáticos presentes en el área de muestreo. El análisis de porcentaje de colonización mostro que la pitahaya nativa presento diferencia significativa, con una media de 33,72 para pitahaya nativa y 20,86 para pitahaya exótica. Al comparar los resultados entre la comunidad de HMA de pitahaya nativa y pitahaya exótica, no existe diferencia significativa.

Palabras clave: Pitahaya, HMA, comunidad, colonización, ecología.

ABSTRACT

In Peru, *Hylocereus megalanthus*, *Hylocereus costaricensis* and *Hylocereus undatus* have been recorded as commercial species introduced to the Peruvian territory. The development and agricultural management of this crop in the San Martin Region and the country is considered to be recent. However, in the San Martin Region there are several accessions of native Pitahayas in the wild, which are currently being used as a source of propagation to implement new plots. Given this, the possible risk of trying to cultivate these plants for productive purposes was observed, due to the conditions required for their adaptation, therefore the need arose to investigate the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), these are microorganisms that are found within the soil microbiota generating symbiosis with most botanical taxa. In addition, at present, there is no information on the diversity of AMF associated with the family Cactaceae, specifically with pitahaya (*Hylocereus* spp.). The work began by collecting rhizospheric soil samples from different pitahaya cultivars in the San Martin region. Then the spores of arbuscular mycorrhizal fungi were extracted from the soil samples and it was determined that the roots of native and exotic pitahaya were colonized by these microorganisms. Through wet sieving of the soil, a total of 37 species of native pitahaya and 40 species of exotic pitahaya were identified at the morphological level, belonging to 17 genera and 8 families, with the genus *Acaulospora* being the most representative. According to the ecological indexes evaluated, it was observed that the native pitahaya presented a richness (S) of 5.0 and the exotic pitahaya one of 4.7; the Shannon index (H) obtained was 1.01 in native pitahaya and 0.92 in exotic pitahaya, the Simpson index (D) obtained in exotic pitahaya was 0.51 and in native pitahaya it was 0.48. By performing a correlation analysis, an indirect correlation was identified between species diversity and edaphic conditions of the samples obtained, meaning that richness increases if there is a low concentration of phosphorus (P), magnesium (Mg), calcium (Ca), potassium (K), base saturation (SB) and hydrogen potential (pH) levels. The non-metric multidimensional scaling analysis (NMDS) determined that the species that alter the structural community of AMF are *Acaulospora rehmsii*, *Ambispora fennica*, *Dominikia aurea* and *Glomus glomerolatum*, possibly due to different edaphoclimatic factors present in the sampling area. The analysis of the percentage of colonization showed that the native pitahaya presented a significant difference, with a mean of 33.72 for native pitahaya and 20.86 for exotic pitahaya. When comparing the results between the AMF community of native pitahaya and exotic pitahaya, there was no significant difference.

Key words: Pitahaya, HMA, Community, Colonization, Ecology.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del marco general del problema

La pitahaya actualmente se produce de manera potencial en Vietnam, China e Indonesia, con una participación del 94%. Vietnam es el país que mayor producción alcanza, representando el 50% de la producción mundial; así mismo en los últimos años ha incrementado la producción en el continente americano, siendo México, Colombia, Ecuador y Guatemala los principales productores latinoamericanos (MIDAGRI, 2021a).

Según el MIDAGRI (2021b) actualmente en el Perú se cultivan las especies de pitahaya *Hylocereus megalanthus*, *Hylocereus costaricensis* y *Hylocereus undatus*, siendo estas especies introducidas al territorio peruano. Al respecto, en la última década la demanda del fruto de pitahaya (*Hylocereus* spp.) se ha elevado en el mercado regional, trayendo como consecuencia la instalación de plantaciones con fines comerciales en la región San Martín, con el objetivo de satisfacer la demanda requerida.

Pitahaya, al ser un cultivo reciente en la región San Martín, presenta riesgos en su adaptación a las condiciones climáticas y edáficas. Según Mizrahi y Nerd (1999) las plantas de pitahaya presentan un crecimiento óptimo al ser cultivada a temperaturas entre los 20°C a 30°C. En la región San Martín la temperatura excede los 30 °C con mucha frecuencia (SENAMHI, 2020), lo cual podría condicionar el desarrollo durante el proceso de adaptación de esta especie. Además, se ha demostrado que *Hylocereus undatus* es susceptible a antracnosis causada por *Colletotrichum siamense*, lo que disminuye el 30% del rendimiento de las plantas (Abirami *et al.*, 2019), así mismo reportaron la especie de nematodo *Meloidogyne incognita* afectando el sistema radicular de *Hylocereus monacanthus* siendo una potencial amenaza al cultivo, debido a la pudrición generada en las raíces, impidiendo el desarrollo óptimo de las plantas (Souza *et al.*, 2022; Silva y Inomoto, 2023). Al respecto, en el suelo existe una gran diversidad microorganismos, de las cuales muchos presentan efectos benéficos para las plantas, dentro del microbiota presente en el suelo, se encuentran los Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA), estos viven de manera simbiótica con el sistema radicular de la mayoría de las plantas, desarrollando mecanismos benéficos en el huésped (Barrer, 2009). Según Birhane *et al.* (2012) los HMA al mediar una serie de eventos de comunicación complejos con las plantas pueden mejorar la tasa de fotosíntesis y otros rasgos relacionados con el intercambio de gases, de modo que las plantas hospedantes puedan prosperar en condiciones de estrés.

Así mismo, Begum *et al.* (2019) mencionan que la simbiosis HMA – planta atribuyen tolerancia frente a variaciones climáticas, sequía y presencia de otros estreses abióticos, aumentando la capacidad de adaptación de la planta, otro rasgo de los HMA es que desarrollaron mecanismos de defensa del huésped, mostrando mejoras significativas en el crecimiento de las plantas, inhibiendo afecciones causadas por nematodos y hongos patógenos (Yang *et al.*, 2014; Gough *et al.*, 2020).

A la fecha existe un limitado conocimiento sobre la diversidad de HMA asociados a la familia Cactáceas, específicamente a pitahaya (*Hylocereus* spp.), por ser un cultivo reciente en muchas partes del mundo (Lahbouki *et al.*, 2021). En este contexto, es importante realizar estudios sobre la diversidad de HMA asociados a la pitahaya en diferentes provincias de la región San Martín.

Esta investigación consideró como objetivo general identificar a nivel morfológico la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en pitahayas nativas y exóticas en la región de San Martín. Adjunto a ello se plantearon los siguientes objetivos específicos.

- Identificar morfológicamente las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.
- Determinar el porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahaya nativa y exótica.
- Comparar la estructura comunitaria que presentan los HMA en pitahayas nativas y exóticas en diferentes condiciones edáficas de San Martín.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Hasta la fecha, solo se ha registrado un único antecedente relacionado con la interacción entre HMA y *Hylocereus* spp. Esta interacción se llevó a cabo mediante la inoculación de dos especies de HMA en un ambiente controlado, específicamente en un laboratorio de cultivos vegetales. No obstante, aún no se ha informado sobre la diversidad de HMA asociada a las plantas de pitahayas en condiciones naturales. En este contexto, la presente investigación se fundamenta en la observación de que los HMA han establecido simbiosis con la mayoría de los grupos botánicos, abarcando una amplia diversidad de taxones (Barrer, 2009). Por consiguiente, se tomaron como referencia diversos estudios relacionados con la diversidad de HMA asociada a numerosos cultivos en la región de San Martín y especies pertenecientes a la misma familia de Cactaceae. Al respecto se consideró los siguientes antecedentes.

Dewir *et al.* (2023), con el objetivo de evaluar los efectos de los HMA en la aclimatación de plántulas de pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) en Arabia Saudita, inoculó cepas de HMA comerciales. De esta manera obtuvo como resultado que estos microorganismos mejoran la sobrevivencia y desarrollo de las plantas de pitahaya en la fase de aclimatación; así mismo mostraron que las plantas de *Hylocereus polyrhizus* inoculadas con HMA presentaron un mayor desarrollo, alcanzando una colonización superior al 60% y obtuvieron un promedio de 75 esporas por cada 100g de suelo después de haber sido trasladadas para su aclimatación *ex vitro*.

De la Sota Ricaldi *et al.* (2023), evaluaron muestras de suelo con el objetivo de identificar diversidad beta de la comunidad micorriza arbusculares en cultivos de sachá inchi peruano (*Plukenetia volubilis*) dentro de la región San Martín. Para ello, colectaron muestras de dos rangos de edad: de más de tres años y menores de un año de. En cada parcela seleccionaron al azar cuatro plantas con un espaciado no menor a 15 metros entre ellas, colectaron aproximadamente 7 gramos de raíces, ubicadas a una distancia de 15cm del tallo para su posterior análisis molecular. Adicionalmente, se recolectaron 500 gramos de suelo por planta asociado a las raíces, a una profundidad de entre 5 y 25 cm, con el fin de llevar a cabo el análisis físico-químico. Los resultados de la caracterización de la comunidad de HMA revelaron la presencia de 13 unidades taxonómicas operacionales (OTU) distribuidas en tres familias: Diversisporaceae, Acaulosporaceae y Glomeraceae. La composición de la comunidad de HMA estuvo influenciada por factores ambientales

como la altitud y las condiciones del suelo, incluyendo el contenido de carbonatos de calcio, saturación base, pH, fósforo disponible y el contenido de materia orgánica del suelo. La cantidad de fósforo en el suelo mostró una correlación negativa con la colonización y la riqueza de especies de HMA. Además, se destacó que el pH y los niveles de carbonatos de calcio están estrechamente relacionados y afectan la actividad de los HMA. En conclusión, los autores sugirieron que parte de esta variación podría atribuirse a diferencias entre las ubicaciones muestreadas y a las condiciones nutricionales del suelo.

Córdova (2023), llevó a cabo la extracción de muestras de suelo en tres regiones y nueve provincias del Perú, incluyendo tres provincias pertenecientes a la región de San Martín (Huallaga, Lamas y Tocache). La finalidad de este estudio fue la caracterización morfológica de la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares, asociados a diferentes ecosistemas de *Theobroma cacao*. Al finalizar la investigación logro identificar ocho (08) familias, diecisiete (17) géneros y sesenta y siete (67) especies, en la cual destaco la predominancia de *Acaulospora*, quien exhibió una mayor riqueza en comparación con otros géneros. en las muestras de la región San Martin, se logró identificar diecisiete (17) géneros, en la cual el género *Acaulospora* y *Funneliformis* presentaron la mayor diversidad. Al evaluar el porcentaje de colonización destaco principalmente la región de San Martín exhibiendo 79,15%.

Díaz (2022), llevó a cabo un estudio con el propósito de evaluar la diversidad de hongos micorrícicos arbusculares en plantaciones de café y en bosques adyacentes. Para ello, recolectó muestras de suelo y biomasa radicular en cinco provincias de la región de San Martín. Dentro de este estudio realizó tamizado húmedo con dos gradientes de sacarosa para aislar las esporas de diferentes morfotipos. Asimismo, realizó tinción de raíces utilizando tinta Parker Quink para evaluar el porcentaje de colonización. Al finalizar la identificación morfológica, encontró cinco (05) familias, nueve (09) géneros y veintinueve (29) especies; siendo familia Glomeraceae la más dominante, con los géneros *Dominikia*, *Glomus* y *Funneliformis*. Luego al comparar los dos tipos de ecosistemas (plantaciones de café y bosques), no se encontraron diferencias significativas en cuanto a la riqueza de especies presentes. Sin embargo, observaron diferencias estadísticamente significativas al realizar comparaciones de índices ecológicos entre localidades evaluadas. Del mismo modo, al evaluar el porcentaje de colonización en los dos ecosistemas muestreados, observo que varió dentro de un rango de 56,13% a 82,79%, sin que se detectaran diferencias significativas. No obstante, al comparar el porcentaje de colonización entre las comunidades presentes dentro de cada ecosistema, se observaron diferencias estadísticas. Finalmente, se concluyó que el género *Acaulospora* presentó una mayor diversidad, con un total de trece (13) especies identificadas: *A. aspera*, *A. morrowiae*, *A.*

dilatata, *A. foveata*, *A. spinosissima*, *A. longula*, *A. lacunosa*, *A. mellea*, *A. scrobiculata*, *A. cavernata*, *A. excavata*, *A. gerdemannii*.

Acosta (2021) llevó a cabo un estudio en la región de San Martín con el objetivo de investigar la diversidad de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) en plantas de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.). Para ello, extrajo muestras de suelo y procedió al aislamiento de esporas utilizando el proceso de tamizado en húmedo y centrifugación, empleando gradientes de sacarosa al 20% y 60%. Posteriormente, realizó la identificación de esporas mediante la comparación con claves taxonómicas previamente establecidas en diversas investigaciones. También se llevó a cabo la tinción de raíces para determinar el porcentaje de colonización micorrícica, utilizando soluciones de hidróxido de potasio (KOH) al 10% y tinta Parker al 5,7%. Para esta evaluación, se colocaron aproximadamente 20 segmentos de raíces de 1-2 cm de longitud sobre una placa portaobjetos, distribuyéndolos en tres líneas equidistantes. Se identificaron un total de 12 géneros de HMA (*Entrophospora*, *Claroideoglomus*, *Funneliglomus*, *Funneliformis*, *Glomus*, *Rhizoglomus*, *Sclerocystis*, *Dominikia*, *Ambispora*, *Acaulospora*, *Diversispora*, *Fuscutata*), distribuidos en 32 especies, destacando *Glomus* y *Acaulospora* en el cultivo de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.).

Rengifo-Del Águila (2020) emprendió una investigación con el propósito de llevar a cabo una comparación a nivel molecular de las comunidades de Hongos Micorrizicos Arbusculares (HMA) asociados a plantas de café en la región de San Martín. Para ello, realizó muestreos en tres provincias distintas: El Dorado, Lamas y Moyobamba, siguiendo un sistema de muestreo que tuvo en cuenta la edad de las plantaciones. Para ello estableció tres rangos: plantas menores de 1 año (rango A), plantas de entre 3 y 4 años (rango B) y plantas mayores de 6 años (rango C). Al concluir el estudio, determinó que las plantas de la provincia de Lamas y El Dorado presentaron el mayor (90%) y menor (53,75%) porcentaje de colonización, respectivamente. Los resultados indicaron que el porcentaje de colonización por hongos micorrizicos fue notablemente alto en árboles con más de 3 años de edad. Asimismo, observó similitudes en la riqueza de especies dentro de las comunidades de hongos micorrizicos analizadas, incluyendo a las familias Acaulosporaceae y Glomeraceae. Estas similitudes se vieron influenciadas por variables ambientales y la edad de las plantas. En el género *Acaulospora*, se logró la identificación a nivel de especie a: *Acaulospora tuberculata*, *A. spinosissima*, *A. foveata*, *A. lacunosa*, *A. mellea* y *A. scrobiculata*.

Arteaga (2019) llevó a cabo un estudio en el cual recolectó muestras de suelo de diversas provincias de la región San Martín con el propósito de investigar la diversidad de HMA en plantaciones de café (*Coffea arabica*). Extrajo muestras rizosféricas de 60 plantas

distribuidas en 12 parcelas y posteriormente realizó un análisis físico-químico del suelo. También procedió a la extracción de esporas mediante tamizado húmedo y decantación, utilizando dos gradientes de sacarosa (20% y 60%). Asimismo, llevó a cabo la identificación de las esporas mediante características físicas y reacción a reactivo de MELZER. Para evaluar el porcentaje de colonización, se emplearon técnicas de tinción de raíces de Philips y la técnica de Hayman modificada para las raíces de café. Como resultado de la investigación se logró identificar esporas de los géneros *Acaulospora*, *Ambispora*, *Claroideoglomus*, *Diversispora*, *Dominikia*, *Funneliglomus*, *sanmartinensis*, *Funneliformis*, *Gigaspora*, *Glomus*, *Rhizoglomus* y *Sclerocystis*, distribuidas en un total de 31 especies de HMA asociadas al cultivo de café.

Campaña *et al.* (2018) con el objetivo de caracterizar molecularmente el microbiota rizosférica nativa de *Opuntia ficus-indica* (Familia Cactaceae) y evaluar el potencial de estos microorganismos, muestrearon 05 zonas áridas en el departamento de Tumbes. Durante el muestreo, realizaron la extracción de 1 kg de suelo rizosférico por cada planta seleccionada para posteriormente realizar el aislamiento de esporas por tamizado en húmedo según la técnica de Gerderman y Nicholson. Los resultados evidenciaron la presencia del género *Glomus*; Así mismo, al inocular plántulas de *O. ficus-indica* con HMA, estos promovieron un mayor crecimiento.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1. Generalidades sobre la pitahaya (*Hylocereus spp.*)

El origen de esta planta se remonta a la selva peruana y países de Centroamérica (Verona *et al.*, 2020); actualmente también se cultiva en China, Taiwán, Estados Unidos y Tailandia (Mizrahi y Nerd, 1999). Las plantas de Pitahaya son plantas trepadoras perennes, epífitas, con tallos verdes suculentos y articulados. Su tallo consta de tres alas onduladas con bordes en forma de abanico. Los tallos alcanzan 6m de longitud. Las raíces proporcionan soporte para los cladodios y pueden trepar diferentes superficies. Apertura floral ocurre en la noche, la parte exterior de las flores es verde y el interior blanco, miden unos 30 cm de longitud y 23 cm de ancho, presenta estigma lobulado y verde, tienen forma de campana y es muy fragante. (Zee *et al.*, 2004). Esta planta es una “especie xerofítica que se adaptada a ambientes secos y áridos - ha desarrollado mecanismos encaminados a favorecer la captación de agua” (Montesinos *et al.* 2015). El fruto de pitahaya presenta un color que puede variar entre amarillo y rojo según la especie, la parte interna del fruto varía dependiendo de la especie (Andrade *et al.* 2007). Tiene una forma ovalada con un diámetro de 10 a 12 cm y un peso de 200 a 570 gramos (Vaillant *et al.*, 2005; Ochoa-Velasco *et al.*, 2012).

a). Fenología

Pitahaya es una planta que comprende de dos etapas fenológicas (vegetativa y reproductiva), en la cual la etapa reproductiva consta de tres fases: Fase I (Brotación), inicia la etapa de floración, en mediante el levantamiento de una espina y aparición del botón floral; Fase II (Floración), la flor se desarrolla hasta que el perianto alcance los 25 cm aproximadamente y luego realizar la apertura floral en horas de la noche; Fase III (Amarre del fruto), en esta fase se ocurre la fecundación del ovulo dando origen al fruto y la caída del perianto; Fase IV (Madurez del fruto), en esta fase ocurre un cambio en la firmeza y el color del fruto en relación a la especie. Esta etapa ocurre en un lapso que varía entre los 40 a 45 días desde brotación hasta la madurez del fruto. Es importante resaltar que las bajas temperaturas en horas de la noche pueden afectar el desarrollo de las flores y la fecundación de ellas (Osuna-Enciso *et al.*, 2016; Martínez-Ruiz *et al.*, 2017)

b). Importancia del cultivo

La importancia económica de la pitahaya (*Hylocereus* spp.) radica en sus frutos ya que presenta alta demanda debido a sus propiedades nutraceuticas y su sabor agradable, además de su apariencia. Su comercialización resulta fácil en los mercados locales y regionales, y su volumen de comercio en los mercados nacionales y extranjeros también es alto. (Montesinos *et al.* 2015).

“La pitahaya (*Hylocereus* spp.), reúne características adecuadas para la agricultura debido a que la planta puede ser aprovechada integralmente y cultivarse con éxito en zonas donde las condiciones climáticas y edáficas no son adecuadas para cultivos más exigentes” (Hernández *et al.* 2021). También menciona que el contenido de vitamina C contribuye al desarrollo óptimo de los dientes, huesos y glóbulos rojos, esto debido a que el hierro de los alimentos se absorbe con mayor eficiencia. Expertos recomiendan su consumo para tratar la anemia en las personas, reducir los niveles de ácido úrico en sangre y sus semillas consumirlas por su gran efecto como laxante. Según el MIDAGRI (2021a), este fruto tiene propiedades curativas debido a su alto contenido de antioxidante y sus niveles de calcio, fósforo y vitamina C.

c) Diversidad de pitahaya

Crane y Balerdi (2019) mencionan y describen las siguientes variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp.): *Hylocereus undatus*, presenta una piel de color rojo y la pulpa de color blanco; *Hylocereus triangularis*, muestra la cascara de color amarillo y una pulpa blanca; *Hylocereus costaricensis*, *Hylocereus monacanthus*, *Hylocereus ocamponis* presentan piel

y pulpa de color rojo; *Hylocereus megalanthus*, la piel de esta variedad es amarilla y la pulpa blanca; las semillas de estas todas son negras.

2.2.2. Hongos micorrízicos

a). Definición

Desde el punto de vista etimológico, la palabra micorriza está compuesta por el griego "mykos" (hongo) y el latín "rhiza" (raíz). En 1885, este término se usó para definir la asociación establecida entre plantas terrestres y ciertos hongos del suelo (Frank, 1885).

b). Importancia

Los HMA cumplen una función importante y de gran relevancia en la salud e inocuidad del suelo, ayuda a desarrollar tolerancia ante la presencia de diversos patógenos y nematodos. Además, facilita la solubilidad de metales pesados presentes en los suelos y facilitan la absorción de nutrientes (Jeffries *et al.*, 2003)

c). Taxonomía

Se encontraron fósiles de micelio y esporas antiguas En el Ordovícico de Wisconsin, eran muy similares a los actuales *Glomales Glomeromycota* y en base a ello se reporta que los HMA se originaron hace más de 450 millones de años (Redker *et al.* 2000 citado por Pérez 2013). El mismo autor cita a Schüßler *et al.*, (2001) mencionando que al secuenciar los genes de la subunidad corta (SSU) del ARN ribosomal, clasificaron a los HMA en el filo Glomeromycota, los separaron del Filo Zigomycota donde se ubicaron originalmente y del Filo Ascomycota y Basidiomycetes. Así mismo el filo Glomeromycota cuenta con un total de tres clases, cinco órdenes, 14 familias y 29 géneros (Oehl *et al.* 2011).

d). Ecología

Los HMA son predominantes en zonas tropicales ya que pueden formar simbiosis con la mayoría de plantas (arbustos, árboles) presentes en todas las regiones estudiadas (Pérez y Read 2004). De acuerdo con Pérez (2013) se pueden encontrar en suelos que varían entre ácidos y alcalinos, depende de estas condiciones varía la diversidad y composición de especies de las micorrizas arbusculares.

e). Diversidad

La real academia de la lengua española (2020) define la diversidad al número de individuos que se diferencian por sus características; sin embargo, dentro de los HMA la diversidad

se mide en alfa y beta; siendo alfa la riqueza de especies de un hábitat específico, la diversidad beta es el número de especies diferentes entre dos muestras (Vega, 2011; Calderón–Patrón, 2012; Mahecha, 2015).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de la investigación

3.1.1. Ubicación política

La investigación se realizó dentro de 14 localidades, ubicadas en 11 distritos y 6 provincias de la región San Martín, cuyos datos se detallan en las tablas 1 y 2.

Tabla 1

Ubicación de localidades de muestreo para pitahaya exótica.

Parcela	Región	Provincia	Distrito	Localidad	Coordenada	Coordenada	Altitud
					X	Y	(msnm)
Bellavista (MB)	San Martín	Bellavista	San Pablo	Consuelo	326678	9246441	269
Cacatachi (MC)	San Martín	San Martín	Cacatachi	Cacatachi	340133	9286241	359
Juanjuí (MJ)	San Martín	Mariscal caseres	Campanilla	Pampa Hermosa	329264	9177122	410
Rioja 1 (MR1)	San Martín	Rioja	Pardo Miguel	Pardo Miguel	225841	9363495	947
Rioja 2 (MR2)	San Martín	Rioja	Pardo Miguel	Pardo Miguel	224324	9362989	1027
Aucaloma (MA)	San Martín	Lamas	San Roque de Cumbaza	Aucaloma	342405	9288118	692

Tabla 2

Ubicación de localidades de muestreo para pitahaya nativa en la región San Martín.

Provincia	Distrito	Código	Coordenadas		Altitud (msnm)	Agrupación poblacional
			X	Y		
Picota	Pilluana	SAUCE - 1a	358425	9256146	214	SAN MARTÍN – PICOTA
		SAUCE - 1b	358475	9256107	211	
		SAUCE - 1c	358487	9256112	211	
		SAUCE - 2a;2b	359012	9256111	221	
		SAUCE – 3	359381	9255990	267	
		SAUCE - 4a	359464	9255828	267	
		SAUCE - 4b	359465	9255814	262	
San Martín	Alberto Levu	SAUCE – 5	359967	9256986	331	SAN MARTÍN
		SAUCE - 5b	359981	9257006	333	
	Sauce	SAUCE - 6d	365406	9257144	609	
		Sauce - 7b	365468	9260130	628	
	Tarapoto	RICU - 1a	345392	9277625	289	
		RICU - 1b	345244	9277441	294	
RICU - 2		345276	9277235	300		
Morales	RICU - 3a	344652	9276998	282		
	RICU - 3b	344659	9276997	280		
	RICU - 4a	344638	9276966	279		
Bellavista	Bellavista	BELLA - 1a	324772	9218616	255	BELLAVISTA
		BELLA - 2b	326461	9217804	278	
		BELLA - 2d	326489	9217834	280	
		BELLA - 4a	328998	9224209	262	
		BELLA - 5a	324511	9218892	297	
		BELLA - 5b	324502	9218903	301	
	San Rafael	BELLA - 3a	331691	9226078	263	
Rioja	Pardo Miguel	RIOJA F	202442	9378985	1252	RIOJA F
	Awajun	RIOJA	230767	9348362	1162	RIOJA
Moyobamba	Jepelacio	MOYO - 1b	289807	9318549	1152	MOYOBAMBA
		Moyo-3	289671	9319909	1049	

3.1.2. Ubicación geográfica

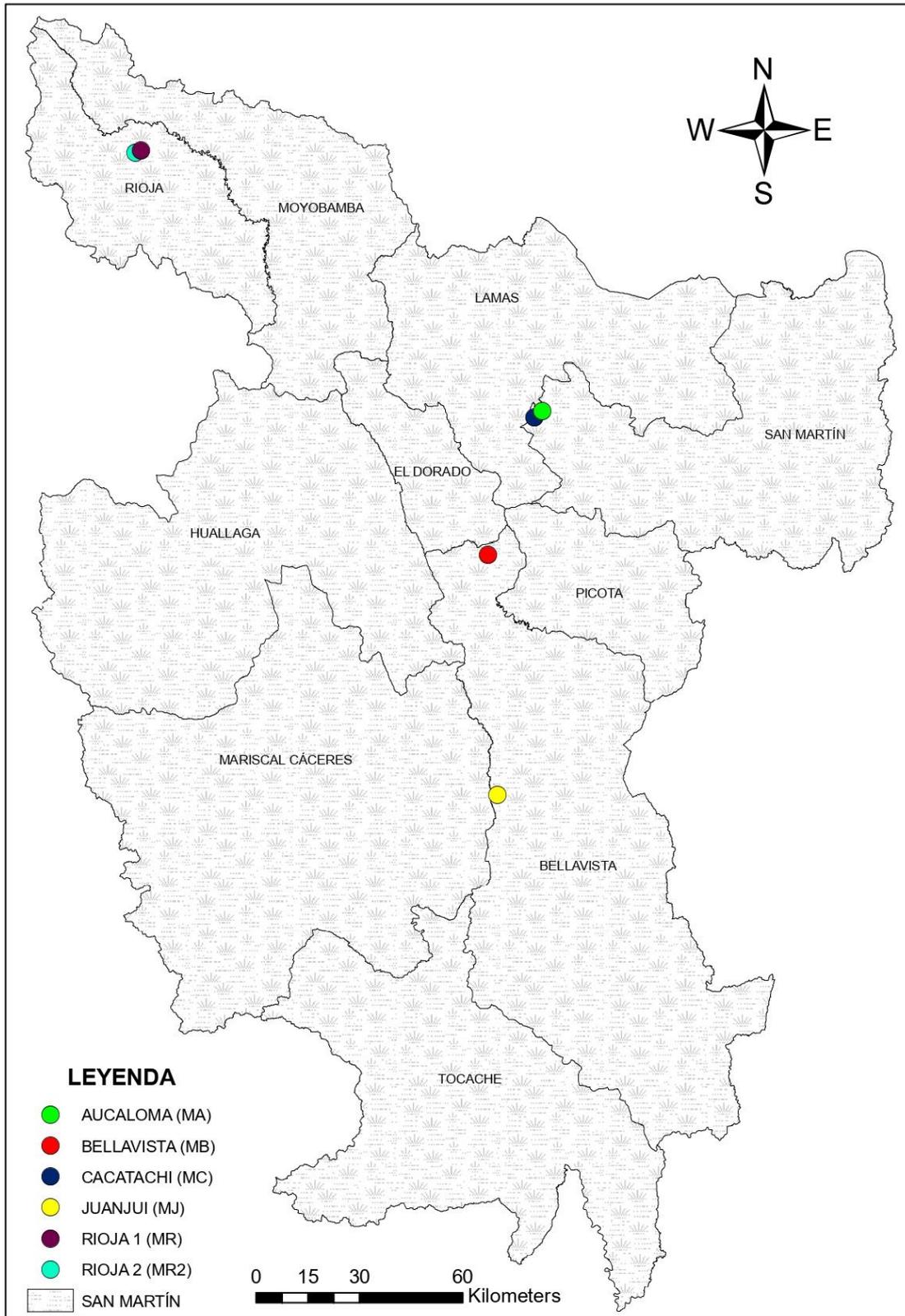


Figura 1

Ubicación geográfica de los puntos muestreados en cultivo de pitahayas exóticas.

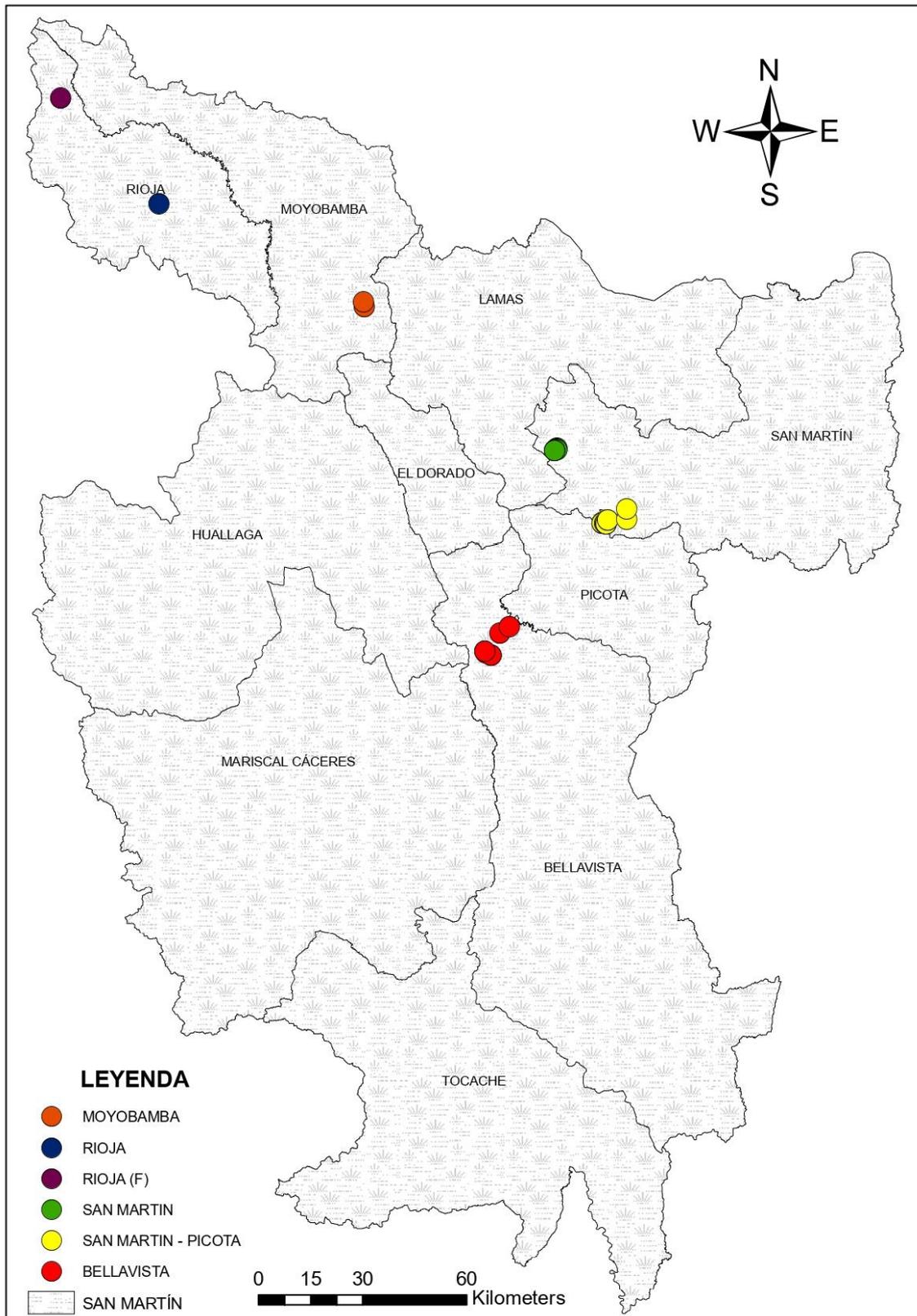


Figura 2

Ubicación geográfica de puntos de colecta obtenidas para pitahaya nativa

3.1.3. Periodo de ejecución

La presente investigación se realizó entre los meses de agosto del 2022 a marzo de 2023.

3.1.4. Autorización y permisos

3.1.5. Colección de muestras.

Para obtener las muestras, fue necesario contar con el permiso y consentimiento de los agricultores, para poder ingresar a sus parcelas. Debido a que se tuvo que ingresar a áreas de cultivo y también a otros lugares de sus predios, esto sin comprometer la integridad del medio ambiente.

3.1.6. Uso de KOH

Al ser un reactivo con potencial de riesgo al momento de su uso, el Laboratorio de Biología y Genética Molecular; mantiene un contrato con la empresa YACUTERRA, con la finalidad de realizar el proceso de desecho de manera segura sin poner en riesgo la seguridad ambiental.

3.1.7. Control ambiental y protocolos de seguridad

La investigación se rigió bajo los protocolos de bioseguridad establecidos para todos los laboratorios de la Universidad Nacional de San Martín, aprobados mediante resolución N° 298-2018-UNSM/CU/NLU. Del mismo modo los involucrados durante el desarrollo de la investigación obedecieron a los protocolos de bioseguridad dictados por el código SL02LA28 con el fin de afrontar el COVID – 19.

3.1.8. Aplicación de principios éticos internacionales

La presente pesquisa se desarrolló bajo los principios de ética y buena conducta responsable de la investigación, también consideramos el respeto por el ecosistema y personas en general.

3.2. Sistema de variables

3.2.1. Variables principales.

De acuerdo a los objetivos presentados en la presente investigación se consideró las siguientes variables.

Identificar morfológicamente las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.

- ✓ Tamaño de esporas
- ✓ Forma de esporas
- ✓ Características de paredes de esporas

Determinar el porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahaya nativa y exótica.

- ✓ Porcentaje de colonización

Comparar la estructura comunitaria que presentan los HMA en pitahayas nativas y exóticas en las diferentes condiciones edáficas de San Martín.

- ✓ Índice de equidad de Shannon-Wiener
- ✓ Índice de dominancia de Simpson
- ✓ Riqueza de especies
- ✓ Densidad de esporas
- ✓ Frecuencia de aislamiento
- ✓ Abundancia relativa
- ✓ Características físico químicas del suelo

3.2.2. Variables secundarias.

No aplica variables secundarias.

3.3. Procedimiento de la investigación.

3.3.1. Identificar morfológicamente las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.

Colecta y codificación de muestras

La colecta de muestras se enfocó en la extracción de suelo rizosférico de 30 plantas distribuidas en 6 parcelas cultivadas de pitahaya exótica y 29 plantas de pitahayas nativas en estado silvestre

Tabla 3*Especies de pitahayas exóticas muestreadas y región de procedencia*

PARCELA	ESPECIE	EDAD	PROCEDENCIA
Aucaloma	<i>Hylocereus undatus</i>	1	Amazonas
Bellavista	<i>Hylocereus undatus</i>	3	Amazonas
Juanjuí	<i>Hylocereus undatus</i>	3	Amazonas
Cacatachi	<i>Hylocereus undatus/Hylocereus guatemalensis</i>	2	Amazonas/Lima
Rioja 1	<i>Hylocereus megalantus</i>	2	Cajamarca
Rioja 2	<i>Hylocereus megalantus</i>	1,7	Cajamarca

Se tomaron 3 puntos alrededor de cada planta, y con ayuda de la palana se extrajo suelo con una profundidad no mayor a 15 cm. De igual manera, las raíces de pitahaya se almacenaron en bolsas, para su análisis correspondiente. Se extrajo un total de 3kg de suelo rizosférico por planta (Corazon Guivin *et al.*, 2022).

Las muestras obtenidas de cada planta fueron homogenizadas con el fin de obtener una muestra compuesta, así mismo cada muestra de suelo fue codificada y almacenada en bolsas de polietileno, para ser trasladadas al laboratorio de Biología y Genética Molecular – FCA - UNSM, para su posterior análisis. Las muestras de biomasa radicular se colocaron en papel toalla húmedo dentro de un cooler para mantenerlas refrigeradas y conservadas, hasta su llegada al laboratorio.

**Figura 3**

Proceso de colecta de muestras. A). Extracción de muestra de suelo. B). Almacenamiento, codificación y homogenizado de muestras. C). Puntos de extracción de las sub muestras de una planta. D). Muestra extraída (suelo y raíces) y conservadas en papel toalla húmedo.

A. Secado, cernido de suelo; selección y conservación de biomasa radicular.

• Secado.

Al llegar a las instalaciones de laboratorio, cada una de las muestras de suelo fueron dispersadas sobre una superficie limpia y con una distancia considerable, para evitar posibles contaminaciones. Este proceso de secado tomo entre 3 a 5 días a temperatura ambiente (Corazon-Guivin *et al.*, 2022).

• Selección y conservación.

Las raíces recolectadas se lavaron cuidadosamente con agua para eliminar cualquier residuo de suelo adherido. Posteriormente, se seleccionaron raíces delgadas mejor conservadas. Estas fueron cortadas en secciones de 2 a 5 cm de longitud y se colocaron en tubos falcon de 50 ml, llenos con alcohol al 70° para su preservación.

• Cernido

El suelo ya seco, se pasó por una malla metálica (tamiz 2 mm), con la finalidad de separar los grumos más grandes de suelo. Al finalizar este proceso, en bolsas de polietileno (Ziploc) se almaceno 250g de suelo, y se conservaron a una temperatura de 4 °C hasta la extracción de esporas. Otros 250g fueron destinados al análisis físico químico de suelo.



Figura 4

Procesamiento de muestras de suelo. **A).** Secado de muestras de suelo a temperatura ambiente; **B).** Raíces seleccionadas para conservación; **C).** Proceso de cernido de suelo para conservación hasta su análisis.

B. Extracción y aislamiento de esporas de HMA

La presente actividad se realizó siguiendo el protocolo de tamizado en húmedo establecido por (Sieverding, 1984), con algunas modificaciones realizadas para el trabajo con suelo rizosférico de pitahaya, a continuación, se describe a detalle el proceso:

Se pesaron 50 gramos de suelo y se transfirieron a un recipiente de 2 litros. Luego, se suspendió y agitó en agua, seguido de un proceso de tamizado utilizando una serie de tamices de 750 μm y 38 μm , el cual se repitió en cinco ocasiones. El material retenido en el tamiz de 38 μm se colocó en un tubo falcon y se le añadió agua hasta alcanzar un volumen de 50 ml, para luego ser centrifugado durante 3 minutos a 3500 rpm. Posteriormente, se decantó el precipitado dentro del tubo falcon, seguidamente se agregó sacarosa al 60% y fue agitado de forma vigorosa hasta obtener una solución homogénea. Posteriormente se procedió a centrifugar durante 1 minuto a 2500 rpm y luego se decantó el precipitado sobre un tamiz de 38 μm , luego se enjuago de manera suave para eliminar la sacarosa adherida a las partículas de suelo; se trasladaron las partículas de suelo del tamiz de 38 μm a una placa Petri utilizando una pipeta con el fin de observar y extraerlas en el estereoscopio. Finalmente, se extrajeron las esporas encontradas con la ayuda de una micropipeta de 10 μm y un punzón, para luego colocarlas en una placa reloj con agua estéril.

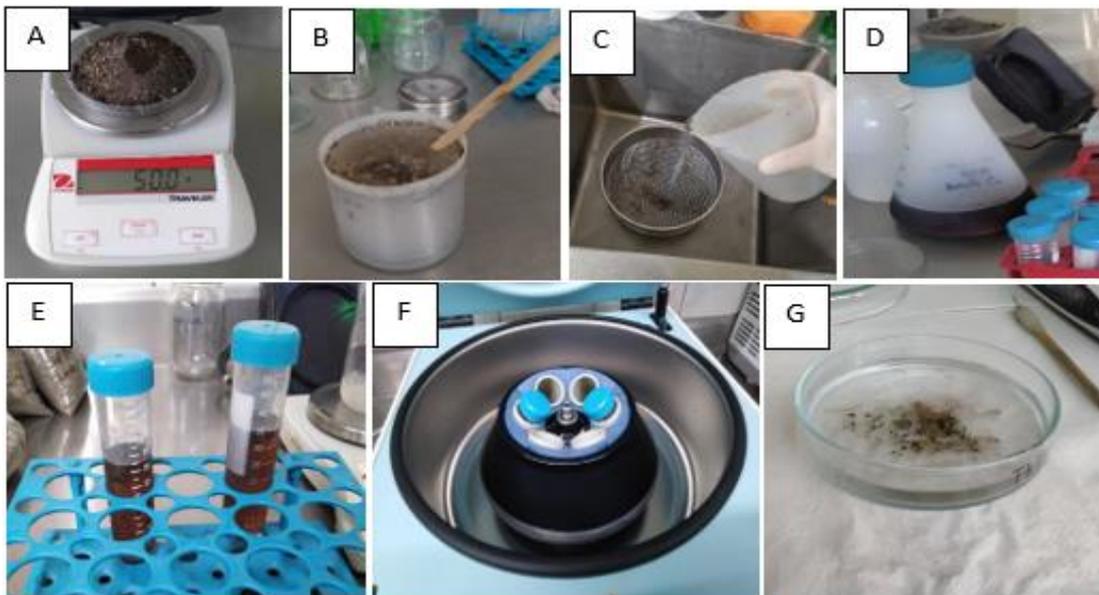


Figura 5

Proceso de aislamiento de esporas de HMA; donde A). pesado de suelo; B). Suspensión y agitado de muestra en agua, C); Filtrado de solución suelo – agua en tamices (750 μm , 38 μm); D). Sacarosa al 60%; E). Muestra diluida en sacarosa al 60%; F). Precipitación de muestra, mediante centrifugación; G). Partículas de suelo en placa Petri.

C. Montaje de las esporas en placas

Las esporas fueron agrupadas por morfotipos y colocadas en una lámina portaobjetos y recubiertas con una solución fija de PVLG y reactivo de Melzer mezclado con PVLG (1:1, v/v) (Brundrett *et al.* 1996).

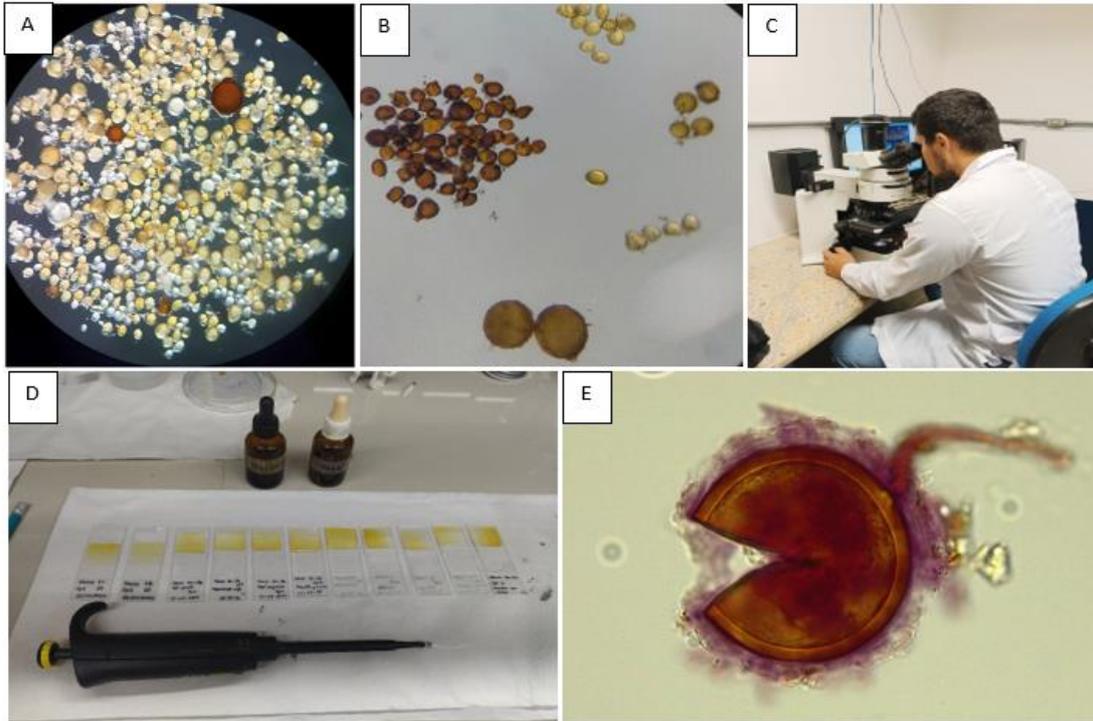


Figura 6

Proceso de montaje de esporas, A). Esporas aisladas; B). Separación de Morfotipos de esporas de HMA; C y D). Observación y montaje de esporas de HMA en laminas; E). Espora de HMA (40X).

D. Aproximación taxonómica.

La identificación de micorrizas estuvo basada en un análisis a nivel morfológico de cada espora, en la cual se consideró el número de estratos que conforman su pared celular, grosor de sus estratos, radio de espora (tamaño) y otros aspectos. Con ayuda de la Colección Internacional de Cultivos de Clústeres Vesiculares (INVAM) (<http://invam.caf.wvu.edu>) y artículos científicos se compararon las características de las esporas aisladas para identificar la especie. Las especies identificadas mediante observación con una cámara digitalizada usando el programa AxionVision®. La clasificación taxonómica de grupos de HMA será determinada según las claves establecidas por (Oehl *et al.*, 2011; Goto *et al.*, 2012; Baltruschat *et al.* 2019; Wijayawardene *et al.* 2020).

3.3.2. Comparación de la estructura comunitaria que presentan los HMA en pitahayas nativas y exóticas en las diferentes condiciones edáficas de San Martín.

A. Cuantificación de esporas

Las esporas obtenidas de cada muestra se colocaron dentro de una placa luna reloj, con la finalidad de realizar un conteo general de las esporas encontradas en cada muestra. así mismo, se montaron en laminas porta objetos con una solución de alcohol polivinílico-lacto glicerol (PVLG) y reactivo de Melzer mezclado con PVLG (1:1, v/v), de acuerdo a lo propuesto por Brundrett *et al.* (1996).

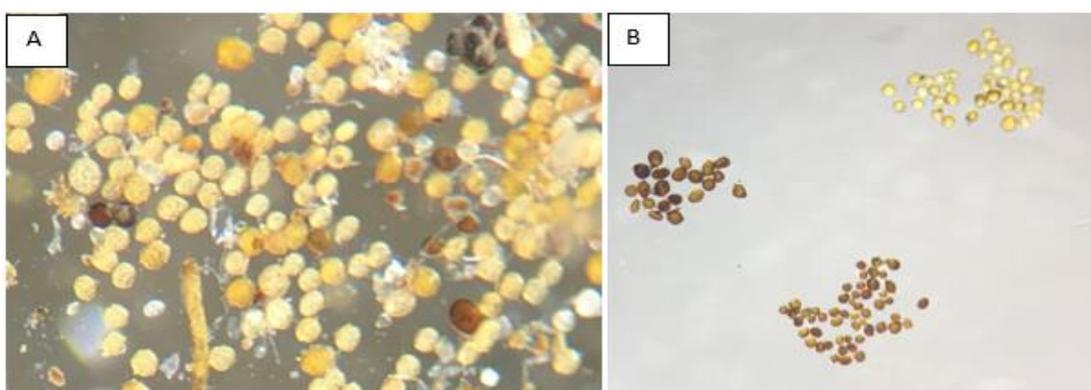


Figura 7

Proceso de cuantificación de esporas, A) Observación de número total de esporas de HMA en agua destilada presentes en una muestra; B) Morfotipos de esporas de HMA.

B. Análisis físico – químico de suelo.

Con la finalidad de observar el comportamiento de los HMA frente a las condiciones edáficas, se realizó el análisis físico – químico de 58 muestras de suelo, en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de San Martín, para la cual se evaluó las siguientes características:

- pH: Potencial de Hidrogeno.
- CE: Conductividad eléctrica.
- N: Nitrógeno
- P: Fósforo.
- K: Potasio.
- C: Carbono.
- M.O: Materia orgánica.
- Textura: Arena, limo, arcilla,
- CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

- Ca⁺: Cation calcio.
- Mg⁺²: Magnesio.
- K⁺: Cation Potasio.
- Na⁺: Cation Sodio.
- Al⁺³+H⁺: Aluminio.

3.3.3. Determinación del porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahaya nativa y exóticas.

A. Tinción de raíces de pitahaya nativa y exótica.

Para la tinción de raíces se utilizó el procedimiento propuesto por Vierheilig *et al.* (1998), con algunas modificaciones para el trabajo específico con material vegetativo de pitahaya; este proceso consiste en colocar una porción de raíces conservadas en alcohol de 70° en un tubo falcon, agregar KOH al 10% y calentar en baño maría a 90° durante 15 minutos. Seguido de este proceso se aplicó H₂O₂ de 20 volúmenes durante un minuto, luego lavar con agua 3 veces. Posteriormente se agregó tinta Parker Quink y se dejó reposar 10 minutos, posteriormente se colocó en baño maría durante 5 minutos, finalmente se lavó las raíces con lacto glicerol y se dejó reposar por 24 horas. Al finalizar las 24 horas se montó las raíces en laminas portaobjetos, para lo cual se ubicó dos grupos de 10 raíces por muestra, cada una de las raíces en fragmentos de 1cm de longitud y luego se analizó por microscopia con aumento de 20X. Las evaluaciones se realizaron de acuerdo con lo propuesto por Brundett *et al.* (1996), que consiste en proyectar tres líneas paralelas y equidistantes a lo largo de la placa porta objetos que contiene las raíces y evaluar la presencia de estructuras microscópicas (hifas, arbusculos o vesículas) en el punto donde las líneas se cruzan con las columnas radiculares (Aguilar, 2015).

Para calcular el porcentaje de colonización de los HMA se consideró la siguiente fórmula (Hernández *et al.*, 2008):

$$\% \text{ Colonización} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de puntos con presencia de estructuras micorrízicas}}{\text{N}^{\circ} \text{ total de puntos evaluados}} \times 100$$

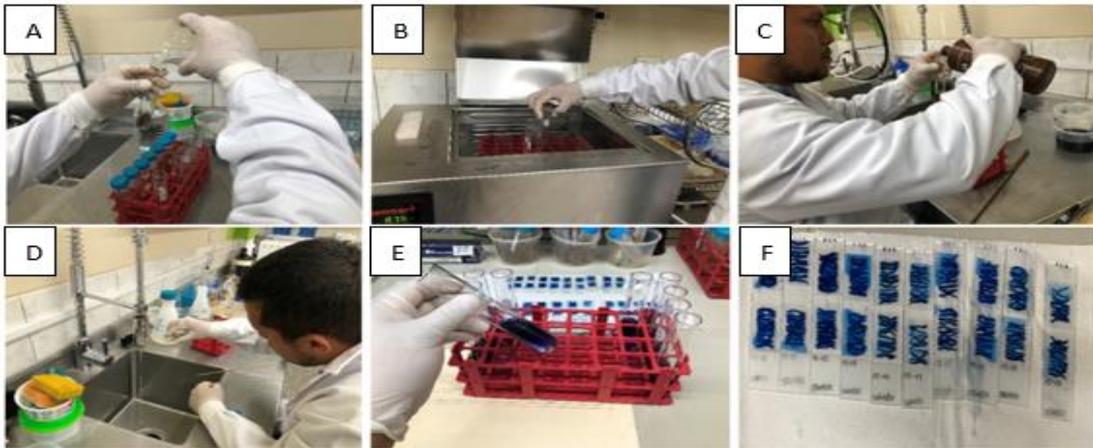


Figura 8

Proceso de tinción de raíces, A) Incorporación de KOH a las raíces de pitahaya, B) Inmersión de las raíces con KOH en baño maría, C) Adición de H₂O₂ para decolorar las raíces, D) Lavado de las raíces con agua corriente, E) Adición de tinta Parker Quink y enjuague con lacto glicerol, F) Montado de raíces en laminas portaobjetos.

3.4. Análisis de datos.

Se realizó una comparación de la estructura comunitaria entre pitahayas nativas y exóticas en diferentes condiciones edáficas de San Martín, para ello el análisis de diversidad de cada tipo de pitahaya (exóticas y nativas) se calculó basado en la densidad de esporas (SD), la riqueza de especies de HMA (S), los índices de Shannon-Wiener (H), dominancia de Simpson (D) y equitatividad de Pielou (J). Los valores diversidad fueron calculados utilizando las funciones *specnumber* y *diversity* del paquete *vegan* en el software R (Oksanen *et al.*, 2020; R Core Team, 2021). Con propósitos estadísticos, los valores de H se convirtieron en Exp (H). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) para saber si existía diferencia significativa entre los tipos de pitahaya (exóticas vs. nativas), seguido del análisis post hoc de Tukey ($\alpha = 0,05$) cuando se detectaban diferencias significativas. Los análisis estadísticos se realizaron con los paquetes *stats* y *agricolae* en el software R. Así mismo se realizó un análisis de correlación, este se llevó a cabo mediante el modelo de Pearson utilizando las funciones *cor.test* y *corrplot* de los paquetes de datos *rio* y *corrplot* en el software R. El porcentaje de colonización fue calculado utilizando el paquete de datos *Ramf* (Chiapello *et al.*, 2019), realizando un análisis varianza para conocer si existe diferencia significativa seguido del análisis post hoc Tukey, El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) se realizó mediante el uso de la distancia de Bray-Curtis en los valores de abundancia de las especies utilizando la función *metaMDS* del paquete *vegan* de R. y las especies que alteran la diversidad se calculó utilizando la función *envfit* con 999 permutaciones. En el modelo final se colocó las especies que tienen una diferencia significativa ($p < 0,05$).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Identificación morfológica de las especies HMA asociadas a pitahayas nativas y exóticas.

En este estudio, se llevó a cabo identificaciones morfológicas de las especies de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en cultivos de pitahaya nativa y exóticas. Se emplearon claves taxonómicas, específicamente las proporcionadas por Oehl *et al.* (2011), Goto *et al.* (2012), Baltruschat *et al.* (2019), y Wijayawardene *et al.* (2020). Tras el análisis, se identificaron un total de 37 especies en pitahaya nativa y 40 especies en pitahaya exótica. Estas especies se distribuyeron en 17 géneros y 8 familias, siguiendo la clasificación de HMA según Oehl *et al.* (2011) y las actualizaciones proporcionadas por Błaszowski *et al.* (2022), Symanczik *et al.* (2018), Corazon-Guivin *et al.* (2019a, b, c), y da Silva *et al.* (2023). Los detalles específicos sobre las especies identificadas, clasificadas por género y familia en el cultivo de pitahaya, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4

Especies identificadas de HMA presentes en el cultivo de pitahaya nativa y exótica.

PLANTAS	FAMILIA	GÉNERO	ESPECIE
EXÓTICAS	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora alpina</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora bireticulata</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora cavernata</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora spinosissima</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora spunilifera</i>
	Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora granatensis</i>
	Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora callosa</i>
	Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora reticulata</i>
	Archaeosporaceae	Appendicispora	<i>Appendicispora appendicula</i>
	Diversisporaceae	Corymbiglomus	<i>Corymbiglomus globiformu</i>
	Ambisporaceae	Ambispora	<i>Ambispora fennica</i>
	Glomeraceae	Dominikia	<i>Dominikia aurea</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus tenebrosum</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus badium</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus brohultii</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus cuneatum</i>

	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus glomerolatum</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus magnicaule</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus</i> sp3
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus tortuosum</i>
	Glomeraceae	Paraglomus	<i>Paraglomus laccatum</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora rehmsii</i>
NATIVAS	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora excavata</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora herrerae</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora reticulata</i>
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora</i> sp1
	Acaulosporaceae	Acaulospora	<i>Acaulospora</i> sp2
	Diversisporaceae	Diversispora	<i>Diversispora pustulata</i>
	Entrophosporaceae	Entrophospora	<i>Entrophospora infrequens</i>
	Glomeraceae	Funneliformis	<i>Funneliformis spinuliferum</i>
	Gigasporaceae	Gigaspora	<i>Gigaspora descipiens</i>
	Gigasporaceae	Gigaspora	<i>Gigaspora gigantea</i>
	Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus</i> sp 2
	Glomeraceae	Nanoglomus	<i>Nanoglomus plukenietae</i>
	Glomeraceae	Paraglomus	<i>Paraglomus</i> sp.1
	Glomeraceae	Rhizoglomus	<i>Rhizoglomus fasciculatum</i>
	Glomeraceae	Rhizoglomus	<i>Rhizoglomus intraradices</i>
	Glomeraceae	Sclerocystis	<i>Sclerocystis sinuosum</i>
	Scutellosporaceae	Scutellospora	<i>Scutellospora</i> sp.1
	Scutellosporaceae	Scutellospora	<i>Scutellospora</i> sp.2
	Scutellosporaceae	Scutellospora	<i>Scutellospora</i> sp.3
	EXOTICAS - NATIVAS	Acaulosporaceae	Acaulospora
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora foveata</i>
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora mellea</i>
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora morrowiae</i>
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora reducta</i>
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora scrobiculata</i>
Ambisporaceae		Ambispora	<i>Ambispora</i> sp1
Ambisporaceae		Ambispora	<i>Ambispora</i> sp2
Acaulosporaceae		Acaulospora	<i>Acaulospora</i> sp3
Glomeraceae		Clareideoglomus	<i>Claroideoglomus claroideum</i>
Glomeraceae		Clareideoglomus	<i>Claroideoglomus etunicatum</i>
Glomeraceae		Funneliformis	<i>Funneliformis geosporum</i>
Glomeraceae		Funneliformis	<i>Funneliformis mosseae</i>

Gigasporaceae	Gigaspora	<i>Gigaspora margarita</i>
Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus macrocarpum</i>
Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus microcarpum</i>
Glomeraceae	Glomus	<i>Glomus</i> sp1
Glomeraceae	Septoglomus	<i>Septoglomus constrictum</i>

En la Figura 9, se presenta el diagrama de Venn que ilustra las especies compartidas y exclusivas entre la pitahaya nativa y exótica. Se destaca que un total de 22 especies son exclusivas de la pitahaya exótica, mientras que 19 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares son exclusivas de la pitahaya nativa. Además, se identificaron 18 especies de HMA compartidas entre ambos cultivos.

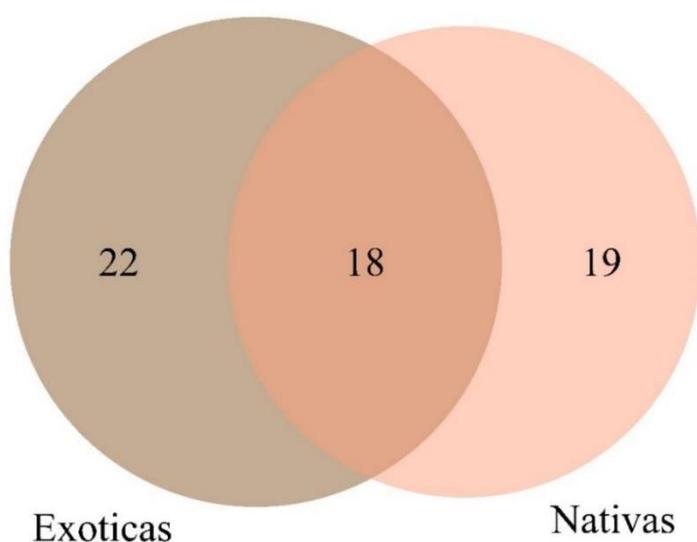


Figura 9

Diagrama de Venn mostrando las especies compartidas y exclusivas para los tipos de pitahaya.

En virtud de la ausencia de antecedentes que documenten la simbiosis de Hongos Micorrízicos Arbusculares en la especie *Hylocereus spp.* (pitahaya), esta investigación adquiere particular relevancia al haber identificado la presencia de 59 especies de HMA en el suelo rizosférico de los cultivos de pitahaya. Estos hallazgos sugieren de manera concluyente que la pitahaya mantiene una relación simbiótica con estos hongos. Esta conclusión se fundamenta en la observación de Brundrett y Tedersoo (2018), quienes establecen que el 72% de las especies de plantas establecen una relación simbiótica de tipo micorrízico arbuscular con HMA. Es importante destacar que la carencia de informes anteriores sobre esta simbiosis específica en la pitahaya refuerza la originalidad y relevancia de los resultados. Así mismo, estos hallazgos respaldan la hipótesis de

Schüßler *et al.* (2001), quienes sostienen que aproximadamente el 80% de las especies vegetales participan activamente en la simbiosis con HMA.

La diferencia de especies presentes en los cultivos de pitahaya nativa (37) y exótica (40), puede estar relacionada a las diferentes condiciones edafoclimáticas que presenta cada tipo de pitahaya, lo que también menciona Vallino *et al.* (2009), ya que diversos estudios han subrayado la fuerte influencia de factores como las propiedades edáficas, las condiciones climáticas estacionales y el estado fisiológico de las plantas huésped en la composición de las comunidades micorrízicas. Asimismo, la divergencia en la gestión de los cultivos, específica para cada tipo de pitahaya, se suma a la complejidad de este escenario. Estos hallazgos resaltan la relevancia de considerar no solo los factores generales, sino también las particularidades locales al abordar la diversidad de las comunidades micorrízicas en estos cultivos.

En el análisis de la influencia de las condiciones edafoclimáticas, es esencial destacar que los puntos de muestreo de la pitahaya exótica revelaron una altitud media de 617 msnm, siendo el punto MR2 (Parcela Rioja 2) el más elevado, alcanzando los 1027 metros sobre el nivel del mar. En contraste, la pitahaya nativa exhibió una extensa gradiente altitudinal, oscilando entre los 214 y los 1252 msnm (Figura 10 y 11). Este amplio rango altitudinal refleja la variabilidad topográfica única de la selva peruana, que abarca altitudes desde los 190 hasta los 4500 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas medias entre 18°C y 36°C, y variaciones de precipitación que van desde los 900 hasta los 3000 mm (Fichas Región, 2021; SENAMHI, 2020). La combinación de estas diversas características edafoclimáticas en la región subraya la complejidad ambiental que potencialmente contribuye a las disparidades en la diversidad de las comunidades micorrízicas en los cultivos de pitahaya. Este panorama se alinea con la observación de Geml (2017), quien destaca patrones en la riqueza y composición de comunidades en relación con la altitud. Un patrón específico señala que la riqueza de hongos arbusculares tiende a disminuir con la altitud, mientras que el clima ejerce una influencia significativa en la diversidad de especies en una zona, especialmente debido a las diferencias en los hospedadores disponibles. Esta divergencia altitudinal entre pitahayas nativas y exóticas subraya la conexión intrínseca entre las características climáticas y la composición de las comunidades micorrízicas, respaldando la noción de que las condiciones edafoclimáticas desempeñan un papel vital en la determinación de la diversidad biológica en estos cultivos.

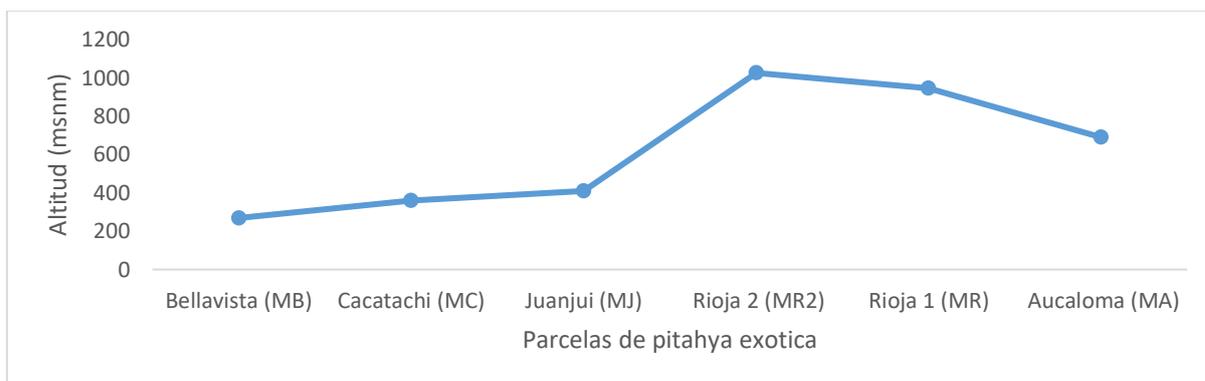


Figura 10

Gradiente altitudinal de Pitahaya exótica.



Figura 11

Gradiente altitudinal de Pitahayas nativas.

En el transcurso de esta investigación, se identificaron un total de 59 especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares. Estos resultados pueden contrastarse con los datos proporcionados por Vega-Herrera *et al.* (2022), quienes indican que entre 1994 y 2021 se han documentado en el territorio peruano un total de 93 especies de HMA, pertenecientes a 24 géneros. Destacan en este contexto géneros como *Acaulospora*, *Glomus*, *Rhizoglomus*, *Diversispora*, *Ambispora*, *Paraglomus*, *Nanoglomus*, *Funneliglomus*, *Oehlia*, *Entrophospora* y *Sieverdingia*. En nuestra investigación, 27 de las especies identificadas representan nuevos registros morfológicos para el Perú. Entre estos descubrimientos, resaltan especies notables como *Acaulospora bireticulata*, *Acaulospora reducta*, *Ambispora granatensis*, *Ambispora callosa*, *Appendicispora appendicula*, *Corymbiglomus globiferum*, *Ambispora fennica*, *Diversispora pustulata*, *Gigaspora margarita*, *Glomus tenebrosus*, *Glomus badium*, *Glomus cuneatum*, *Glomus glomerolatum*, *Glomus magnicaule*, *Glomus tortuosum*. Además, se reportaron varias especies sin identificación a nivel de especie, denominadas "sp." (*Acaulospora sp1*, *Acaulospora sp2*, *Acaulospora*

sp3, Ambispora Sp1, Ambispora sp2, Glomus sp 1, Glomus sp 2, Glomus sp3, Paraglomus sp1, Scutellospora sp1, Scutellospora sp2, Scutellospora sp3). Estas últimas podrían representar potencialmente nuevas especies, ya que las claves taxonómicas utilizadas no permitieron una identificación a nivel de especie.

Es importante destacar que, según Marinho *et al.* (2018), la familia Gigasporaceae predomina en los bosques tropicales. No obstante, en nuestra investigación, se evidencia que la familia Acaulosporaceae es la más representativa. Esta variación coincide con lo propuesto por Declerck *et al.* (1995), citado por Alarcón y Ferrera (1999), quienes demostraron que diversos factores inherentes a los hongos afectan el proceso de simbiosis de un hongo micorrízico arbuscular, influyendo en el genotipo de la planta hospedante. Cabe resaltar que, hasta la fecha, la relación de los HMA con la pitahaya no ha sido explorada a fondo, sugiriendo un área de investigación prometedora.

Otro aspecto relevante, respaldado por Pontes *et al.* (2017), es que los bosques tropicales albergan la mayor diversidad de especies de HMA a nivel mundial, con una alta probabilidad de que aún existan especies no registradas (da Silva *et al.*, 2017). Estos hallazgos coinciden con los resultados de nuestro estudio, donde se identificaron 59 especies en el Perú, incluyendo las 12 especies denominadas "sp".

4.2. Comparación de estructura comunitaria de los HMA en pitahayas nativas y exóticas en las diferentes condiciones edáficas de San Martín.

Riqueza de especies de HMA de pitahaya nativa y pitahaya exótica

Los análisis estadísticos revelaron que no existe una diferencia significativa en la riqueza específica según el tipo de cultivo de pitahaya (Tabla 5). Al realizar el análisis de Tukey ($p < 0,05$), se pudo determinar que la riqueza específica del cultivo de pitahaya nativa es de 5, mientras que la del cultivo de pitahaya exótica es de 4,7. Estos resultados indican que la pitahaya nativa exhibe una mayor riqueza que la variedad exótica. Para visualizar este comportamiento, se presenta en la Figura 12 el índice de riqueza (S).

Tabla 5

Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Nativas * Exóticas	1	1,30	1,30	0,16	0,69
Residuos	56	448,30	8,01		

Los resultados obtenidos revelan que no hay una diferencia significativa en la riqueza de especies de hongos micorrízicos arbusculares entre la pitahaya nativa y la pitahaya exótica. Hasta la fecha, se han registrado aproximadamente 350 especies de HMA, según Amf-Phylogeny.com (2023). La extraordinaria diversidad de estos hongos en los bosques tropicales, representando el 75% del total del phylum Glomeromycota (Goto y Jobim, 2022), destaca la notable variabilidad en la región de San Martín.

En este contexto, es crucial señalar que la riqueza de especies de HMA encontrada en las pitahayas exóticas y nativas constituye aproximadamente el 17% del total de especies reportadas hasta la fecha. Este hecho resalta la importancia de comprender la estructura de la riqueza a niveles local (región, localidad, provincia) o específico (en un cultivo particular) de hongos micorrízicos arbusculares, una base fundamental para investigaciones con enfoque ecológico y ambiental.

Aunque no se observa una diferencia significativa en la riqueza de especies entre la pitahaya nativa y exótica, se destaca que las pitahayas exóticas albergan una mayor cantidad de especies identificadas (40) en comparación con las pitahayas nativas (37). Este fenómeno podría explicarse por el uso de prácticas agronómicas, como la incorporación de plantas fijadoras de nitrógeno, como el maní forrajero, en el cultivo de pitahayas exóticas (Silva *et al.*, 2022, y Bustamante-González *et al.*, 2022). Estas plantas actúan como hospederos, incrementando así la diversidad de HMA presente en el suelo. En contraste, las pitahayas nativas, al encontrarse en ecosistemas naturales, pueden interactuar con otras especies vegetales cuyas raíces prefieran asociarse con diferentes tipos de hongos, como los ectomicorrízicos, lo que podría resultar en una menor diversidad de HMA (Xiang *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2017).

Índice de Shannon pitahaya nativa y pitahaya exótica

La medición del índice de diversidad (Shannon), refleja la variedad de especies dentro de un ecosistema. El ANOVA revela que no existen diferencias significativas en este índice al comparar la pitahaya nativa, presente en ecosistemas naturales, con las pitahayas exóticas cultivadas en ambientes agronómicos, como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6

Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Nativas * Exóticas	1,00	0,11	0,11	0,36	0,55
Residuos	56,00	17,32	0,31		

La comparación de la diversidad entre los dos tipos de ecosistemas, como se presenta en la Tabla 6, revela una similitud sorprendente. Este hallazgo contradice lo mencionado por Carrara *et al.* (2018) quien indica que los ecosistemas agrícolas tienden a reducir la diversidad de especies debido al uso de productos químicos y al desgaste del suelo, en comparación con los ecosistemas naturales, donde se esperaría una mayor diversidad de HMA

En el contexto de la diversidad observada en ambos ecosistemas de plantas de pitahaya, se destaca la presencia predominante de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*. Estos géneros han demostrado ser prominentes en diversas investigaciones sobre la diversidad de HMA en el Perú, representando el 26 % y el 9,68 %, respectivamente, en cultivos como cacao, café y sacha inchi (Vega-Herrera *et al.*, 2022). Cabe mencionar que la incidencia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* podría deberse a la notable capacidad de adaptación de sus esporas a diversas condiciones ambientales (Loss *et al.*, 2009). Este patrón sugiere la resistencia y versatilidad de estos géneros en diferentes contextos ecológicos.

Índice de Simpson pitahaya nativa y pitahaya exótica

El índice de Simpson, indica la dominancia de una especie, es decir la probabilidad de que dos individuos en este caso especies de HMA escogidos aleatoriamente pertenezcan a la misma especie (Moreno, 2001). En los resultados obtenidos de esta investigación, al realizarse el ANOVA se demostró que no existe diferencia estadística entre los índices de Simpson de pitahaya nativa (ecosistema natural) y pitahayas exóticas (ecosistema agronómico) Tabla 7.

Tabla 7

Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Nativas * Exóticas Simpson	1,00	0,013	0,013	0,19	0,66
Residuos	56,00	3,84	0,069		

La comparación de los índices de Simpson entre la pitahaya nativa (0,51) y las pitahayas exóticas (0,48) revela que, aunque no se observa una diferencia estadísticamente significativa, ambas variedades exhiben una notable diversidad de especies. Es importante destacar que todas estas especies están representadas de manera equitativa en términos de abundancia individual. Al contrastar estos resultados con investigaciones previas en

diferentes cultivos de la región San Martín, se obtienen perspectivas interesantes. Por ejemplo, en el cultivo de café, se ha informado un índice de Simpson de 0,16, indicando una alta diversidad y baja dominancia de especies en ese contexto. De manera similar, el cultivo de Sacha Inchi mostró un índice de 0,1, señalando también una diversidad significativa y baja dominancia de especies (Arteaga, 2019; Acosta, 2022). Estas comparaciones resaltan la importancia del índice de Simpson como una herramienta valiosa para evaluar la distribución de especies en diversos sistemas agrícolas, subrayando su relevancia en términos de equilibrio ecológico.

Índice de equitatividad de Pielou

El índice de equitatividad de Pielou indica la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada. Su valor va de 0 a 1, de forma que 1 corresponde a situaciones donde todas las especies son igualmente abundantes y el 0 señala la ausencia de uniformidad (Magurran, 1988). En relación con lo mencionado se observa en la Tabla 8 que existe diferencia significativa entre los índices de equitatividad de Pielou de pitahaya nativa y pitahaya exótica. Es por ello que se realizó un análisis de Tukey para ver la diferencia que representan ambos tipos de cultivo (Tabla 9).

Tabla 8

Análisis de varianza del Índice de Equitatividad de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Nativas *	1	0,187	0,18704	4,353	0,0422
Exóticas					
Residuos	49	2,105	0,04297		

Tabla 9

Análisis Post Hoc de Tukey del Índice de Equitatividad de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa y exótica.

	Media	Sig
Nativas	0,784767	A
Exóticas	0,6691699	B

En relación a los resultados, donde la pitahaya nativa exhibe un Índice de Equitatividad de Pielou superior en comparación con las variedades exóticas, es plausible inferir que esta diferencia podría estar relacionada con el uso de insumos químicos en el ecosistema de cultivo, lo que probablemente tenga un impacto negativo en la diversidad de especies de

Hongos Micorrízicos Arbusculares. En contraste, el ecosistema natural, caracterizado por cambios ambientales mínimos en suelo y atmósfera, podría mantener una mayor equitatividad. Este planteamiento se respalda en las observaciones de Nouri *et al.* (2014), quienes indican que las diversas condiciones presentes en los ecosistemas, ya sean agrícolas o silvestres, generan una variabilidad significativa en la representatividad de cada especie de HMA. Cada especie de HMA muestra un mejor rendimiento en condiciones edafoclimáticas específicas, alineadas con los requisitos de su respectivo taxón (Yao *et al.*, 2010).

Un aspecto notable que respalda este análisis es la observación de un patrón similar en los resultados de Díaz-Franco *et al.* (2015), quienes informaron mejores rendimientos al aplicar una asociación de HMA en suelos sin fertilizar en comparación con suelos tratados con fertilizantes.

La Figura 12, que ilustra la diversidad de HMA para diferentes tipos de pitahaya a través de un análisis de varianza, presenta resultados significativos en los análisis realizados, tales como la riqueza de especies, el Índice de Shannon, la Dominancia de Simpson y la Equitatividad de Pielou.

Es crucial destacar que se observa una diversidad similar en ambos ecosistemas, sugiriendo que las perturbaciones experimentadas por los ecosistemas agrícolas no han afectado significativamente la riqueza y dominancia de las especies de HMA en el suelo rizosférico. Este fenómeno podría atribuirse a la elevada presencia inicial de especies funcionalmente similares, lo que aumenta la capacidad del sistema para mantener su funcionamiento en caso de pérdida de especies, un concepto conocido como redundancia (Díaz y Cabido, 2001; Thompson *et al.*, 2009).

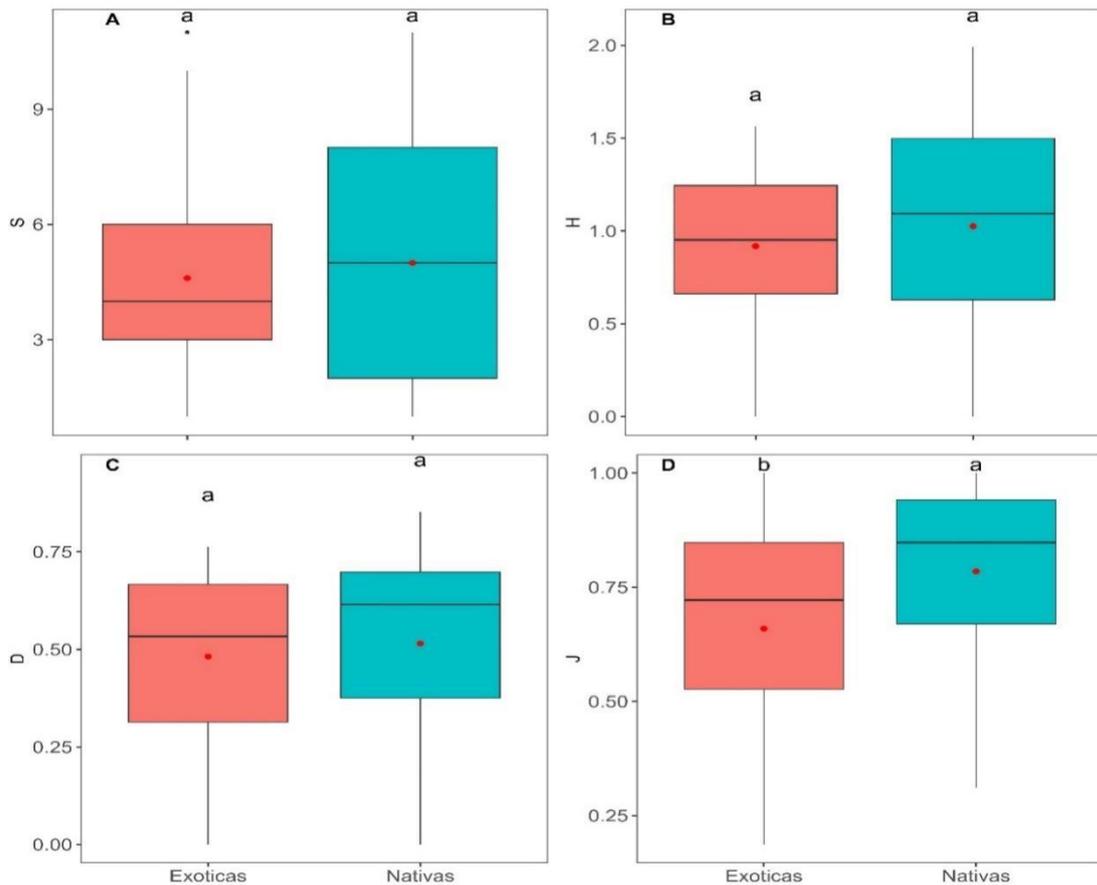


Figura 12

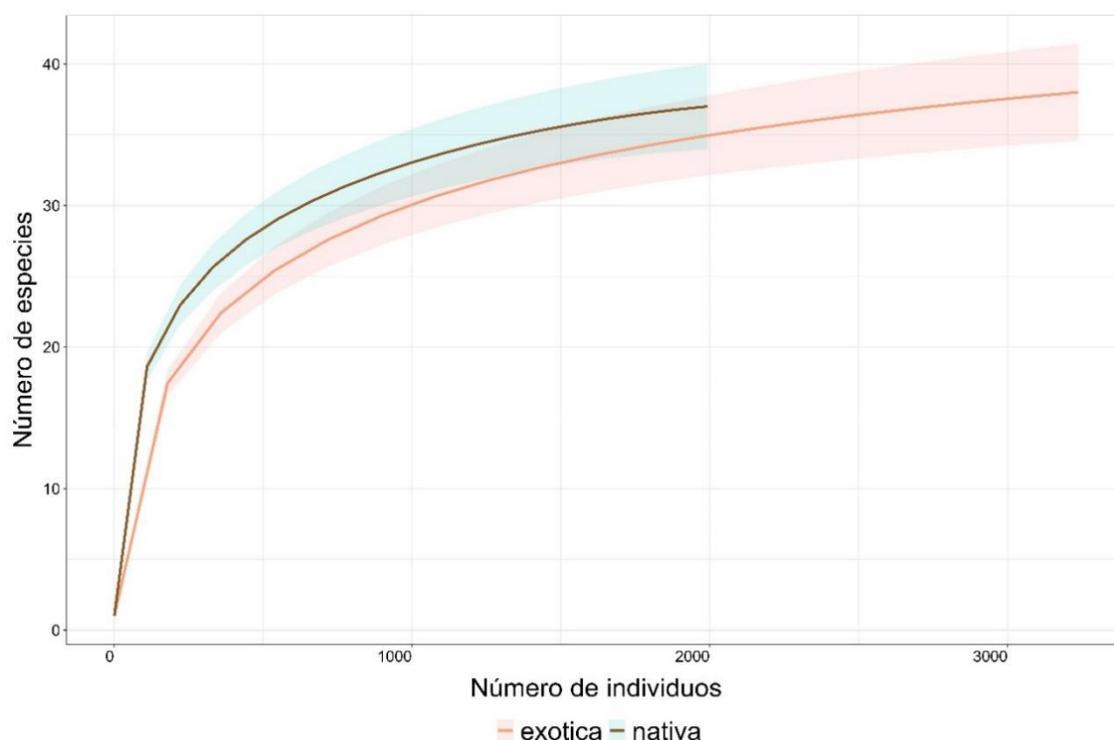
Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya. A. Riqueza de especies; B. Índice de Shannon; C. Dominancia de Simpson; y D. Equitatividad de Pielou. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0,05$).

Curva de rarefacción de especies de pitahaya nativa y pitahaya exótica

Los resultados de la curva de rarefacción estimaron la riqueza de especies de HMA de suelo rizosférico de plantaciones de pitahaya nativa y exótica en relación a patrones como características del suelo, altitud, perturbaciones, etc. (Figura 13). La riqueza estimada se evaluó en base a los índices Chao 1 basado en los datos de abundancia, el análisis se realizó usando la función *ChaoSpecies* y *iNEXT* del paquete de datos *iNEXT* en el software R (Hsieh *et al.*, 2016). Se observa que la estimación de especies para pitahaya exóticas es mayor que las de pitahaya nativa (Tabla 10).

Tabla 10*Estimación de especies para pitahaya nativa y exótica.*

Estimación de especies	Cantidad	Estimación media
Exótica	40	42,499
Nativa	37	38,142

**Figura 13**

Curva de rarefacción de especies para cada tipo de pitahaya.

El análisis de estimación de especies proporciona una evaluación de la eficacia del muestreo realizado, es decir, su capacidad para aproximarse a lo que se esperaba en términos de cantidad de individuos y especies identificadas, considerando parámetros como las características del suelo y las especies vegetales presentes. En el caso de la pitahaya nativa, se estima que debería haber alrededor de 38 especies con aproximadamente 2000 individuos, y en los resultados reales se identificaron 37 especies, lo que indica un esfuerzo de muestreo del 95% para acercarse a la estimación de especies. Para la pitahaya exótica, se estima que debería haber unas 43 especies con más de 3000 individuos, y se identificaron 40 especies, lo que refleja un esfuerzo de muestreo del 93% para alcanzar la estimación de especies.

Dado este contexto, se realizó un análisis de correlación para evaluar la influencia de las variables fisicoquímicas del suelo en la riqueza (S) y la densidad de esporas del suelo (SD) de las especies identificadas.

La Figura 14 presenta un análisis de correlación de Pearson que relaciona los parámetros fisicoquímicos del suelo con la riqueza (S) y la densidad de esporas (SD). Esta representación visual permite evaluar la relación lineal entre dos variables, con valores que varían entre -1 y 1. Una proximidad a 1 indica una correlación directa positiva significativa, mientras que acercarse a -1 indica una correlación inversa significativa. Por otro lado, un valor cercano a 0 sugiere una falta de correlación entre las variables en cuestión (Wiedermann y Hagmann, 2016).

Los resultados revelan una correlación inversa significativa ($p < 0,05$) entre la diversidad de especies de hongos micorrízicos arbusculares y el tipo de suelo, evidenciando que la densidad de esporas disminuye en suelos con mayores porcentajes de arcilla y limo. Además, se destaca que la riqueza de especies tiende a incrementarse en suelos con bajas concentraciones de fósforo, magnesio, calcio, potasio y por ende, una menor saturación base. Se observa asimismo una correlación inversa entre el pH del suelo y la riqueza de especies en el cultivo de pitahaya.

Es fundamental resaltar que la presencia y estructura de las comunidades de HMA están influenciadas por factores tanto bióticos como abióticos, incluyendo la planta huésped (Kivlin *et al.*, 2011; Torres-Arias *et al.*, 2017). En consonancia con investigaciones previas, la relación entre el pH del suelo y los HMA emerge como un factor crítico que impacta en la riqueza de estas especies en el suelo. La influencia del pH se refleja en diversos aspectos del ciclo de vida de los HMA, como la esporulación, germinación, colonización y desarrollo de las hifas, conduciendo a una disminución de la riqueza de especies con el tiempo (Jamiołkowska *et al.*, 2018). Este fenómeno se vincula a la correlación inversa entre la riqueza de especies y la saturación base, que, a su vez, está directamente relacionada con el pH (Oehl *et al.*, 2017). Estudios adicionales subrayan el papel primordial del pH como factor influyente en la diversidad y riqueza de HMA, manifestándose en índices de diversidad como Simpson, Shannon o el índice de Pielou (Xu *et al.*, 2016; Rozek *et al.*, 2020). En síntesis, el pH del suelo emerge como un determinante significativo en la estructura y dominancia de las especies de HMA en el suelo rizosférico, influyendo en la configuración de la comunidad de HMA (Corazón-Guivin *et al.*, 2022).

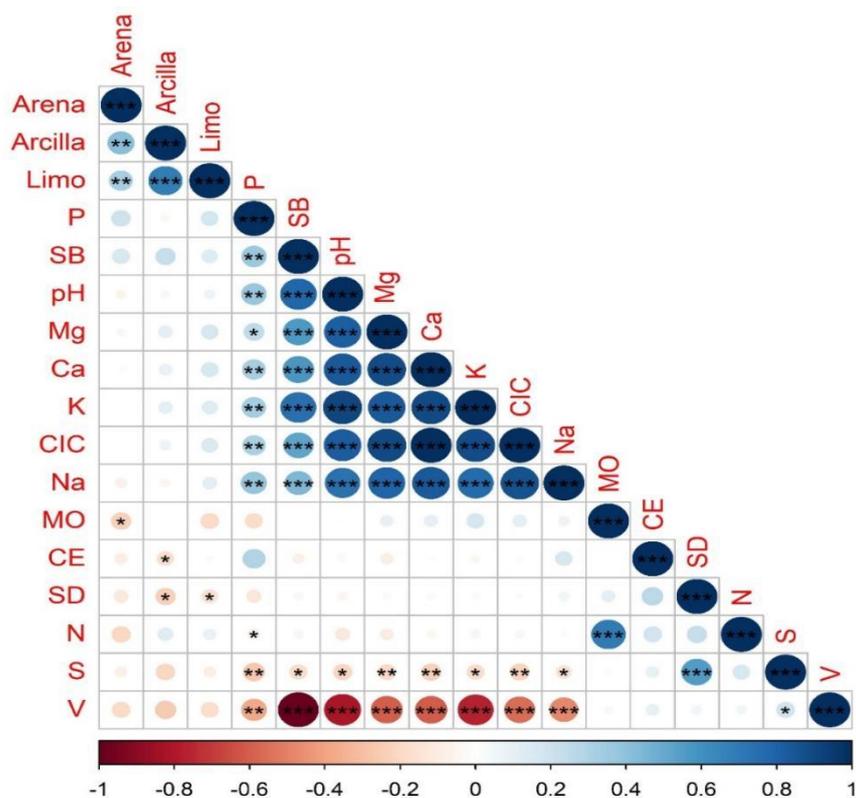


Figura 14

Análisis de correlación de Pearson de los parámetros fisicoquímicos de suelo con la riqueza (S) y densidad de esporas (SD). Valores de significancia * ($p < 0,05$), ** ($p < 0,01$) y *** ($p < 0,001$).

En el caso del fósforo, se observa que a medida que este aumenta la riqueza disminuye, lo que concuerda con otros estudios como lo expuesto por Ma *et al.*, (2021), quienes indican que el fósforo tiene un papel crítico en la proliferación de especies de hongos micorrízicos arbusculares, dado que su disponibilidad en el suelo regula el crecimiento de las plantas y la colonización micorrízica. Esto puede verse influenciado por la movilidad limitada del P en el suelo implicando que los suelos con baja concentración de este nutriente, presentan una densidad poblacional de HMA mayor, con ciertas especies asumiendo roles dominantes. Además, es importante entender que los HMA facilitan la absorción de P mediante estructuras hifales hacia las raíces de las plantas hospederas, promoviendo así la colonización y germinación de los hongos micorrízicos arbusculares (Raven *et al.*, 2018; Ceulemans *et al.*, 2019).

En relación al tipo de suelo, el análisis de correlación de Pearson revela una correlación inversa significativa entre la diversidad de especies y la presencia de suelos arcillosos. Esta relación se explica por las características de los suelos arcillosos, que, al ser más pesados, dificultan el flujo de agua y presentan una mayor capacidad de compactación,

creando un entorno desfavorable para el desarrollo de las estructuras hifales y la proliferación de HMA. En contraste, los suelos arenosos ofrecen un entorno menos denso y compacto, facilitando el flujo de agua y la porosidad, condiciones propicias para el desarrollo del micelio micorrízico (Saranya *et al.*, 2011; Mangalassery *et al.*, 2013).

De acuerdo con Trouvelot *et al.* (2016), elementos específicos presentes en el suelo, como el potasio, el magnesio, el zinc y el boro, están estrechamente vinculados al pH del suelo. Esta relación indica que la composición total del suelo, el tipo de suelo y las condiciones climáticas pueden ejercer influencia sobre la germinación, proliferación y colonización de los hongos micorrízicos arbusculares.

Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS)

El análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) se utilizó para visualizar la variación en la composición de las comunidades de HMA teniendo en cuenta los tipos de pitahaya (exóticas vs nativas), esto con el fin de saber cuáles son las especies que presentan una mayor influencia en la composición de las comunidades. En la figura 15 se observa el análisis de escalamiento multidimensional no métrico, donde se considera las comunidades de HMA de los dos tipos de pitahaya nativa y exótica, las flechas indican las especies con significancia que afecta la composición de comunidades y las elipses indican el valor de confianza del 95 % entre las comunidades de los tipos de pitahaya. En la Tabla 11 se determinan las especies que afectan significativamente el orden normal de la estructura comunitaria, ya sea por una dominancia elevada o por poca presencia de dominancia, en este caso *Acaulospora rehmi*, *Ambispora fennica*, *Dominikia aurea* y *Glomus glomerolatum* presentan menos de 5 individuos reportados.

Tabla 11

Especies que afectan la composición de la comunidad de HMA.

	NMDS1	NMDS2	r2	Pr(>r)
<i>Ac. rehmi</i>	-0,00002	1	0,53	0,004
<i>Ambispora fennica</i>	0,75	-0,66	1,00	0,01
<i>Dominikia aurea</i>	0,75	-0,66	1,00	0,01
<i>Glomus glomerolatum</i>	0,75	-0,66	1,00	0,01

La diversidad de HMA, se define con la caracterización morfológica o molecular de esporas colectadas en suelo de campo, a la vez permite la caracterización de la comunidad fúngica determinando la diversidad, riqueza, densidad, dominancia, entre otros y poder correlacionarlo con las características edáficas (Błaszowski, 2012).

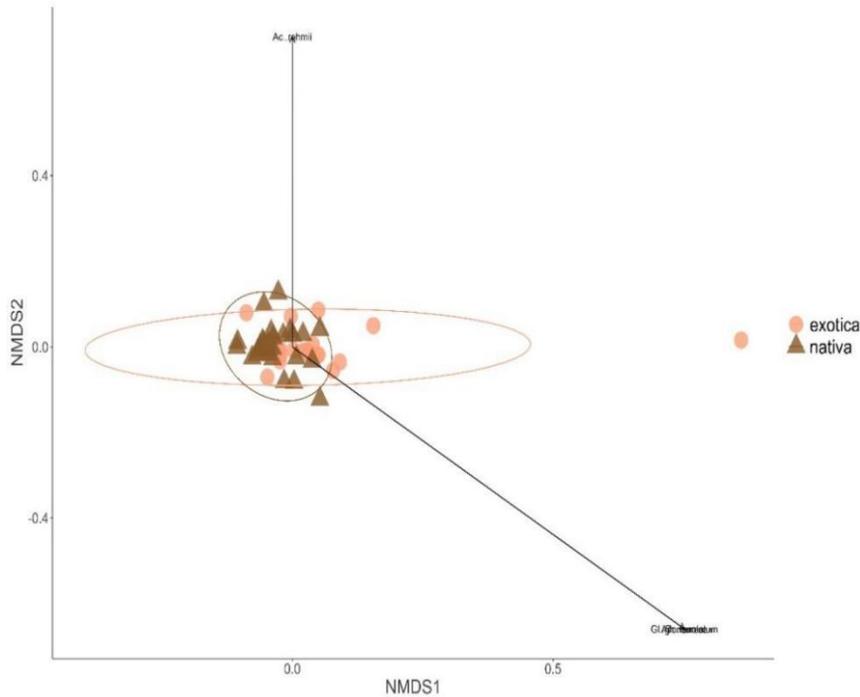


Figura 15

Análisis de escalamiento multidimensional no métrico (NMDS) considerando los tipos de pitahaya. Las flechas indican las especies con significancia que afecta la composición de comunidades ($p < 0.05$). Las elipses indican el valor de confianza del 95 % entre las comunidades de los tipos de pitahaya.

Según el análisis de escalamiento multidimensional no métrico, se identificaron especies que afectan la estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en los cultivos de pitahaya nativa y exótica, siendo notables *Acaulospora rehmsii*, *Ambispora fennica*, *Dominikia aurea* y *Glomus glomerolatum*. Una interpretación de este fenómeno, respaldada por De la Sota Ricaldi, *et al.* (2023), sugiere que diferentes especies de HMA podrían estar en estado de dormancia, es decir, inactivas debido a diversos factores abióticos. Esta idea concuerda con estudios que señalan que algunas especies de Glomeromycota producen esporas estacionalmente, lo que ha llevado al uso de cultivos trampa para inducir la esporulación y así mantener la diversidad de HMA (Brundrett *et al.*, 1999).

La evaluación de la diversidad de HMA se basa en la caracterización morfológica o molecular de esporas recolectadas en el suelo, permitiendo la descripción de la comunidad fúngica en términos de diversidad, riqueza, densidad, dominancia, entre otros, y su correlación con las características edáficas (Błaszowski, 2012).

La escasa presencia de *Acaulospora rehmsii* podría vincularse a la especie de planta hospedante, ya que investigaciones en la región amazónica, específicamente en cultivos

de cacao, café y sachá inchi, han mostrado comportamientos distintos (Rojas-Mego *et al.*, 2014; Vallejos-Torres *et al.*, 2019; Corazon-Guivin *et al.*, 2021; Vallejos-Torres *et al.*, 2021).

En cuanto a *Ambispora fennica* y *Dominikia aurea*, su escasa presencia en estudios peruanos previos podría deberse a factores ambientales que limitan su dominancia, lo que se alinea con nuestros hallazgos. También es posible que, en el momento del muestreo, estas especies estuvieran en un estado de dormancia, suspendiendo temporalmente su crecimiento y desarrollo, como se ha observado en investigaciones anteriores (Herrera, 2019; Arteaga, 2019; Rojas-Mego *et al.*, 2014).

Finalmente, *Glomus glomerolatum*, reportada en países como Colombia y China, es registrada por primera vez en Perú en esta investigación, lo que indica su baja dominancia como especie. Esta especie es común en suelos ácidos e infértiles, como los encontrados en el ecosistema de Sabana de Colombia (Dodd *et al.*, 1990).

Evaluación de estructura comunitaria por localidad

Se realizó una comparación de la estructura comunitaria entre las localidades muestreadas para pitahayas nativas y exóticas. Las Figura 16 y 17 representan un gráfico de cajas que ilustra los diferentes índices de diversidad de HMA para los diferentes tipos de pitahaya nativa y exóticas según localidad; se representa el análisis de varianza y las diferencias significativas obtenidas en los análisis realizados, que incluyen la riqueza de especies, el Índice de Shannon, la Dominancia de Simpson y la Equitatividad de Pielou.

Riqueza comunitaria por localidad

En la Tabla 12 se observa el análisis de varianza realizado para el índice de riqueza de pitahayas exóticas según localidades, observándose diferencia significativa entre las localidades por lo que se realizó el análisis de Tukey (Tabla 13), donde letras diferentes indican diferencia significativa. La localidad de Aucaloma presenta un índice de riqueza media de 8 especies, siendo la localidad con mayor riqueza dentro de las pitahayas exóticas, Bellavista es la localidad con menor riqueza con un índice medio de 3 especies, es impórtate resaltar que esta parcela ubicada en la localidad de Aucaloma es la única que se ha manejado bajo un sistema de asociación con plantas de cobertura (*Arachis pintoii*) y de acuerdo con Silva *et al.*; (2022), la presencia de plantas fijadoras de nitrógeno favorece un mejor desenvolvimiento de las comunidades de HMA.

Tabla 12

Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica según localidades muestreadas.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos *					
Riqueza	5,00	75,50	15,10	3,99	0,00891
Residuos	24,00	90,80	3,78		

Tabla 13

Análisis de Tukey para índice de riqueza de pitahaya exótica según localidades

	Media	Significancia
Aucaloma	8	A
Bellavista	3	B
Cacatachi	4	B
Juanjuí	3,8	B
Rioja1	4,6	AB
Rioja2	4,8	AB

El análisis de varianza para el índice de riqueza de pitahayas nativas según localidades muestra que no existe diferencia significativa (Tabla 14). Siendo Rioja (F), la localidad con el mayor índice de riqueza con una riqueza de 8 especies, seguido por San Martín – Picota con 7 especies, Rioja 6 especies, Moyobamba 5 especies, Bellavista 3 especies y San Martín 3 especies.

Tabla 14

Análisis de varianza de riqueza de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa según localidades muestreadas

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Riqueza	5,00	106,00	21,20	2,65	0,051
Residuos	22,00	176,00	8,00		

Índice de Shannon comunitaria por localidad

En la tabla 15 se observa el ANOVA realizado a las especies identificadas de pitahayas exóticas según localidad, no existe diferencia significativa en cuanto a diversidad.

Tabla 15

Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Shannon	5,00	1,03	0,21	0,89	0,49
Residuos	24,00	5,51	0,23		

En la tabla 16 se observa el ANOVA realizado a las especies identificadas de pitahayas nativas según localidad, no existe diferencia significativa en cuanto a diversidad o índice de Shannon.

Tabla 16

Análisis de varianza del Índice de Shannon de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Shannon	5,00	1,70	0,34	0,83	0,55
Residuos	22,00	9,08	0,41		

Índice de Simpson comunitaria por localidad

En la tabla 17 se muestra el análisis de varianza de las pitahayas exóticas del índice de dominancia o de Simpson según localidad, no se observa diferencia significativa. En la Tabla 18 se observa el ANOVA de pitahayas nativas del índice de dominancia o de Simpson según localidad.

Tabla 17

Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Simpson	5,00	0,30	0,06	1,06	0,45
Residuos	24,00	1,36	0,06		

Tabla 18

Análisis de varianza del Índice de Simpson de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Simpson	5,00	0,24	0,05	0,54	0,75
Residuos	22,00	1,94	0,09		

Índice de equitatividad de Pielou comunitaria por localidad

Se observa en la Tabla 19 que existe diferencia significativa entre los índices de equitatividad de Pielou de pitahaya exótica en relación de localidades. Es por ello que se realizó un análisis de Tukey para ver la diferencia que representan ambos tipos de cultivo (Tabla 20), letras diferentes indican diferencia significativa. Donde la localidad de Rioja 2 presentó un índice de Pielou 0,8287 siendo el mayor dentro de las pitahayas exóticas, Bellavista, Cacatachi, Juanjuí, Rioja 1, presentan un índice similar y Aucaloma el índice más bajo con 0,4553.

Tabla 19

Análisis de varianza del Índice de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya exótica.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos *					
Pielou	5,00	0,56	0,11	3,26	0,02
Residuos	22,00	0,76	0,034		

Tabla 20

Análisis de Tukey de pitahayas exóticas según localidad.

	Media	Significancia
Aucaloma	0.4553	B
Bellavista	0,8094	AB
Cacatachi	0,5181	AB
Juanjuí	0,7232	AB
Rioja1	0,6822	AB
Rioja2	0,8287	A

Se observa en la Tabla 21 que no existe diferencia significativa en los índices de Pielou entre las muestras de pitahaya nativa según localidad, Bellavista presenta un índice de

0,938, Rioja de 0,91, Moyobamba con 0,822, San Martín con 0,791, San Martín-Picota con 0,698, Rioja (F) con 0,55.

Tabla 21

Análisis de varianza del Índice de Pielou de hongos micorrízicos arbusculares entre la comunidad del cultivo de pitahaya nativa.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Pielou	5,00	0,26	0,05	1,67	0,19
Residuos	17,00	0,53	0,03		

Las Figuras 16 y 17 se observa la diferencia en la composición de las comunidades de pitahayas, tanto exóticas como nativas, en las diversas localidades sujetas a muestreo. En términos de diversidad de especies, resulta destacable que la localidad de Aucaloma exhiba un índice superior en el caso de las pitahayas exóticas, mientras que, para las pitahayas nativas, es la localidad de Rioja (F) la que presenta el índice más elevado de riqueza. La existencia de un mayor número de especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en la rizosfera de estas localidades posiblemente se deba a una serie de variables, que incluyen diferencias en el pH del suelo, la textura del mismo, los niveles de humedad y diversas propiedades fisicoquímicas, entre otros factores, que ejercen una influencia significativa en la diversidad y adaptación de estos microorganismos (Barrios, 2017).

Es relevante mencionar que la región de San Martín se distingue como una de las áreas de mayor relevancia en cuanto al porcentaje de especies de HMA registradas en el Perú, según el informe de Vega-Herrera *et al.* (2022). En esta región, se ha documentado una diversidad impresionante que comprende 105 especies, siguiendo la clasificación propuesta por Redecker *et al.* (2013).

En lo que concierne al índice de Shannon, se aprecia que no se detectan diferencias significativas entre las localidades muestreadas para las pitahayas, tanto nativas como exóticas. Este hallazgo sugiere que la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en estas localidades no experimenta variaciones notables. Es importante destacar la predominancia de los géneros *Acaulospora* y *Glomus*, que representan el 26% y el 9,68% de las especies de HMA reportadas en Perú. Estos géneros son ampliamente reconocidos y han sido previamente identificados en diversos cultivos como Sacha inchi, cacao y café, pero es la primera vez que se documenta su presencia en el cultivo de pitahaya, lo cual posiblemente se deba a su notoria capacidad de adaptación (Loss *et al.*, 2009; Vega-Herrera *et al.*, 2022).

El índice de dominancia de Simpson también arroja resultados sin diferencias significativas entre las localidades muestreadas, tanto para las pitahayas exóticas como para las nativas. En ambos casos, los índices se mantienen por debajo de 1 (0,3-0,6), lo que indica una menor diversidad de HMA y la presencia de una dominancia por ciertos tipos o especies (Ulfah, 2019). Investigaciones previas, como las llevadas a cabo por Arteaga (2019), obtuvieron resultados similares en plantaciones de café en localidades como Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba, donde los índices de dominancia variaron entre 0,16 y 0,41. En el cultivo de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* L.), se observaron índices de dominancia que oscilaron entre 0,1 y 0,43 en localidades como El Dorado, Lamas, San Martín y Bellavista. Estos hallazgos demuestran que la región de San Martín presenta una diversidad diversa de comunidades de HMA en las distintas localidades (Acosta, 2021).

El análisis del índice de equitatividad de Pielou, evaluó la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada, revelando disparidades entre las muestras de pitahaya exótica en distintas localidades. Por otro lado, en el caso de las muestras de pitahaya nativa, se destaca que la localidad de Rioja 2 presenta una equitatividad de especies significativamente mayor, con un índice de 0,82, mientras que Aucaloma exhibe el menor índice de equitatividad, con un valor de 0,45. No obstante, en cuanto a las pitahayas nativas, no se evidencian diferencias significativas, indicando que las especies de HMA en las localidades muestreadas poseen niveles de equitatividad similares oscilando entre 0.5 y 0.9. Estos hallazgos coinciden con los informes de Vega-Herrera *et al.* (2022), quien señala que la región de San Martín alberga una notable riqueza de 80 especies de micorrizas arbusculares. Dentro de esta región, las provincias de San Martín, Lamas y El Dorado presentan la mayor diversidad, con 64, 63 y 56 especies respectivamente, mientras que las provincias de Mariscal Cáceres, Rioja y Huallaga exhiben una menor riqueza, con 3, 5 y 7 especies respectivamente. Además, las provincias de Moyobamba, Picota y Bellavista cuentan con 40, 26 y 14 especies respectivamente. Entre las especies más predominantes en la región se encuentran aquellas pertenecientes a las familias Glomeraceae y Acaulosporaceae, con géneros como *Glomus*, *Rhizoglomus* y *Acaulospora*.

En última instancia, este estudio pone de manifiesto la diversidad de HMA en los cultivos de pitahayas y resalta la importancia crucial de la región de San Martín en la preservación de esta diversidad. Asimismo, subraya la prevalencia de ciertos géneros de HMA, como *Acaulospora* y *Glomus*, en los cultivos de pitahaya. Los índices de diversidad revelan una uniformidad notable en la diversidad de HMA en las diversas localidades estudiadas, consolidando la importancia ecológica de la región en el mantenimiento de estas comunidades micorrícicas.

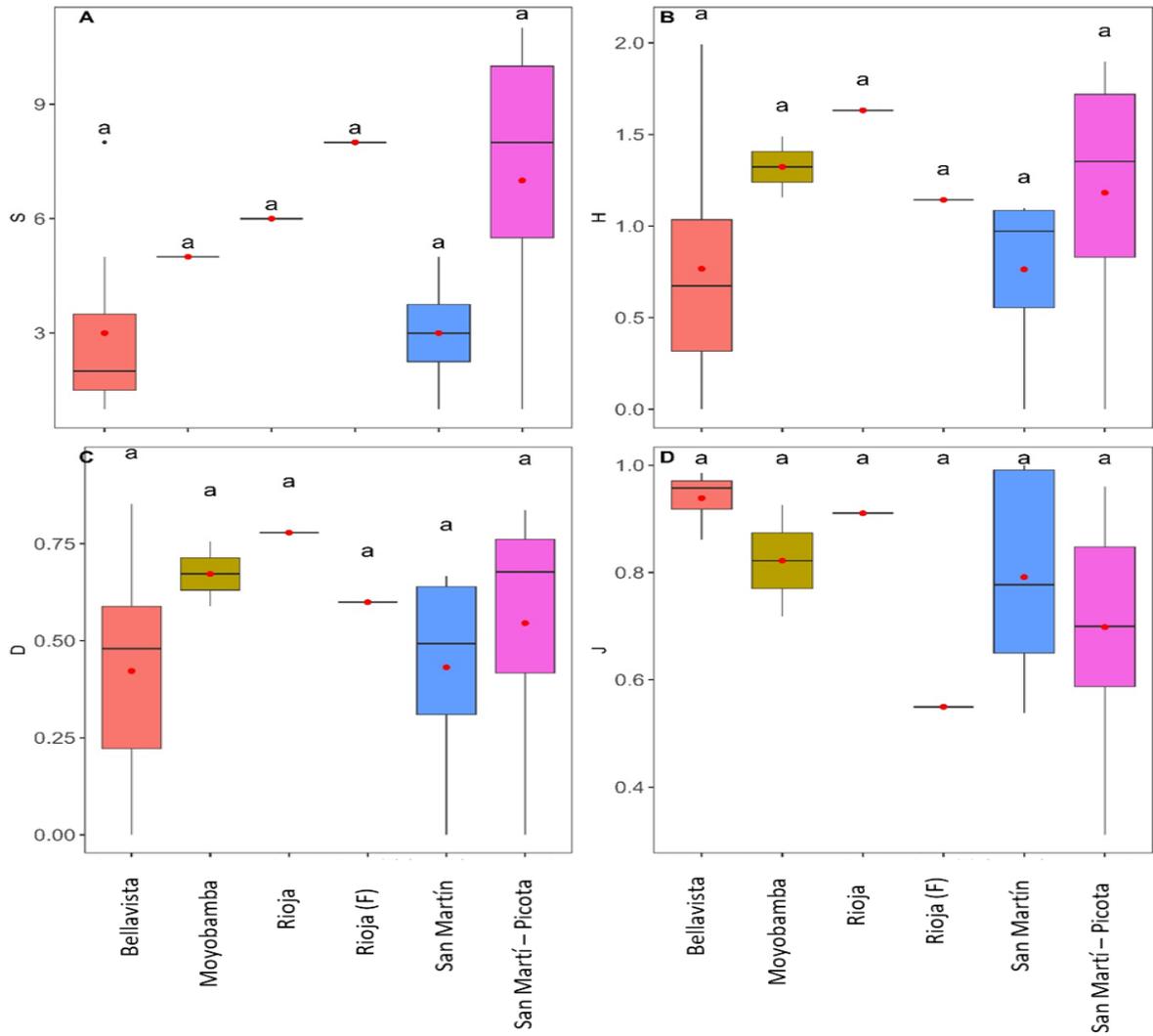


Figura 16

Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya nativa según localidad. A. Riqueza de especies; B. Índice de Shannon; C. Dominancia de Simpson; y D. Equitatividad de Pielou. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0,05$).

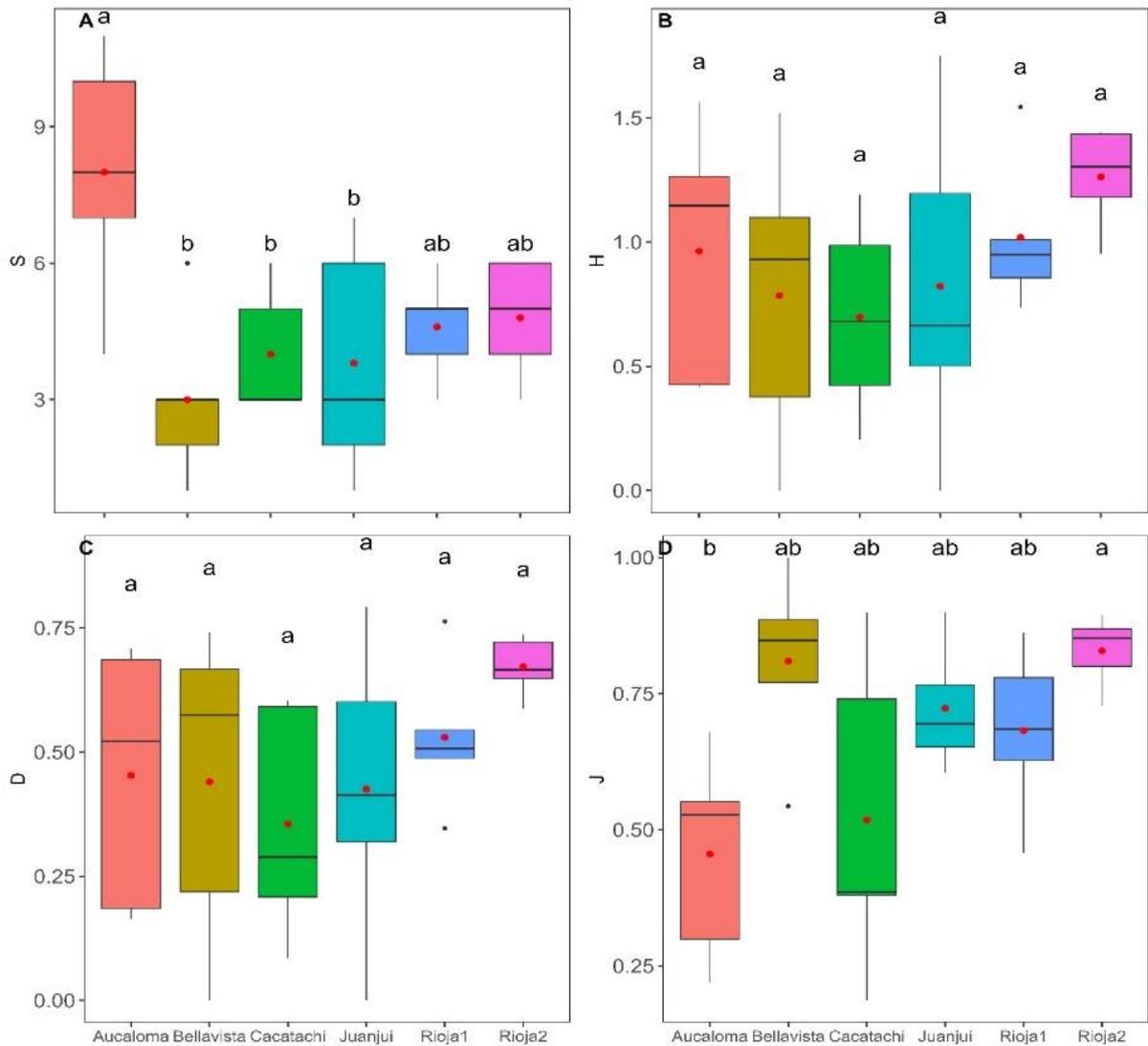


Figura 17

Gráfico de cajas de la diversidad de HMA para los tipos de pitahaya nativa según localidad. A. Riqueza de especies; B. Índice de Shannon; C. Dominancia de Simpson; y D. Equitatividad de Pielou. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0,05$).

4.3. Determinar el porcentaje de colonización micorrízica de HMA en raíces de pitahayas nativas y exóticas.

Para determinar el porcentaje de colonización micorrízica arbuscular en raíces de pitahaya nativa y exóticas se utilizó el procedimiento propuesto por Vierheilig *et al.* (1998), frente a esto se obtuvieron los resultados que se muestran en la tabla 22.

Tabla 22*Porcentaje de colonización según localidad*

NATIVAS	
Muestra	% De colonización
San Martí – Picota*	41,80
Bellavista	24,80
San Martin	34,60
Moyobamba	30,80
Rioja F	8,30
Rioja	8,30

EXÓTICAS	
Muestra	% De colonización
CACATACHI	49,33
JUANJUI	20,00
RIOJA 1	17,33
AUCALOMA	8,67
BELLAVISTA	8,67
RIOJA 2	17,67

*Comunidad compuesta por muestras presentes en dos provincias, sin embargo, se agruparon de acuerdo a su distribución geográfica.

El ANOVA (Tabla 23) para colonización micorrízica de pitahayas nativas y exóticas, mostro diferencia significativa. Según el análisis de Tukey (Tabla 24) la pitahaya nativa presentó un mayor porcentaje de colonización.

Tabla 23*Análisis de varianza del porcentaje de colonizaciones de pitahaya nativas y exóticas.*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos *	1,00	2266	2265,80	4,96	0,03
Riqueza					
Residuos	53,00	24200	456,60		

Tabla 24*Análisis Post Hoc de Tukey del porcentaje de colonización*

	Media	Sig.
Nativas	33,72	A
Exóticas	20,86	B

En la figura 18 se presenta el gráfico de cajas del porcentaje de colonización entre los tipos de pitahaya, mostrando que la pitahaya nativa presenta una colonización mayor. La diferencia en la colonización de HMA en los tipos de pitahaya, posiblemente estén relacionadas con parámetros fisicoquímicos como el pH y el fosforo presente en el suelo (Prates *et al.*, 2019).

La colonización micorrízica se ve influenciada por la concentración de materia orgánica del suelo, y el potasio presente, estos factores mencionados pueden inducir también la esporulación y desarrollo de estructuras hifales (Yang *et al.*, 2018).

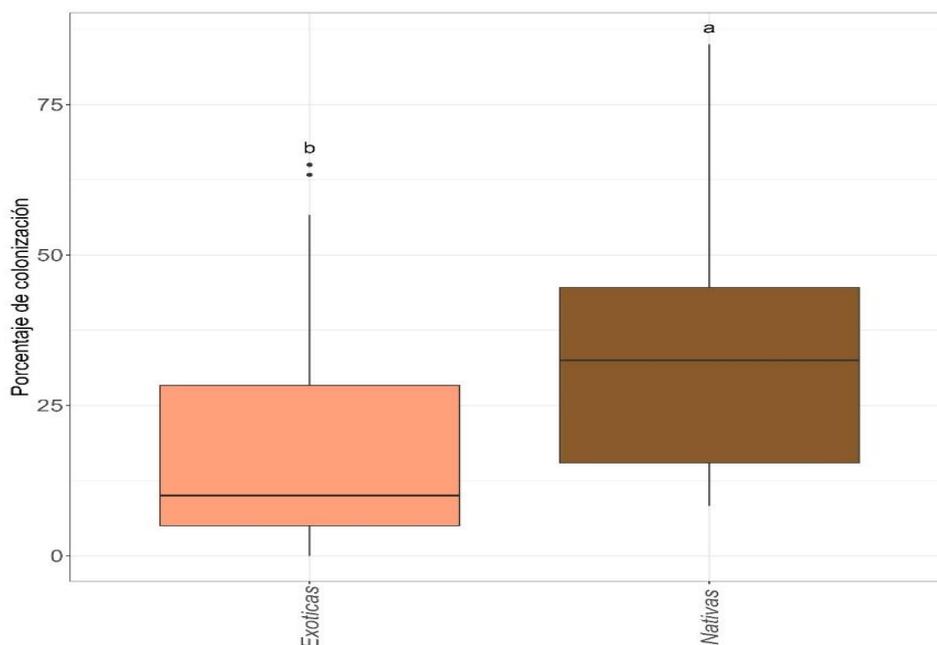


Figura 18

Gráfico de cajas del porcentaje de colonización entre los tipos de pitahaya. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Se realizó un análisis de varianza de la colonización micorrízica de las muestras de pitahayas nativas y exóticas según localidades (Tabla 25 y 26), para los resultados de colonización pitahayas exóticas se observa diferencia significativa, siendo Cacatachi la zona que presenta mayor porcentaje de colonización 49.33%, seguido de Juanjuí con 20%. Para pitahayas nativas no se observa diferencia significativa.

Tabla 25*Análisis de varianza de porcentaje de colonización de pitahayas exóticas según localidades*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Colonización * localidades	5,00	5647	1129,40	3,43	0,02
Residuos	24,00	7887	328,60		

Tabla 26*Análisis de Tukey de pitahayas exóticas según localidades*

	Media	Significancia
Aucaloma	8,60	B
Bellavista	8,60	B
Cacatachi	49,33	A
Juanjuí	20,00	AB
Rioja1	17,33	AB
Rioja2	17,66	AB

Tabla 27*Análisis de varianza de porcentaje de colonización de pitahayas nativas según localidades*

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F Calculado	P-valor
Base de datos * Riqueza	5,00	2481	496,10	1,30	0,30
Residuos	19,00	7236	380,80		

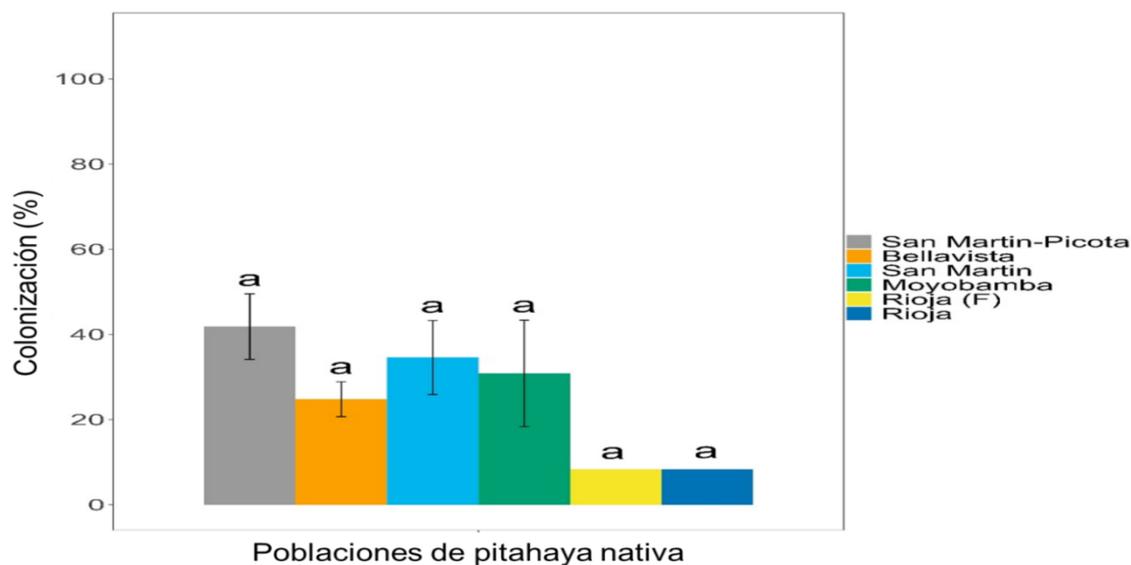


Figura 19

Porcentaje de colonización de pitahaya nativas en relación a localidades muestreadas. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0,05$)

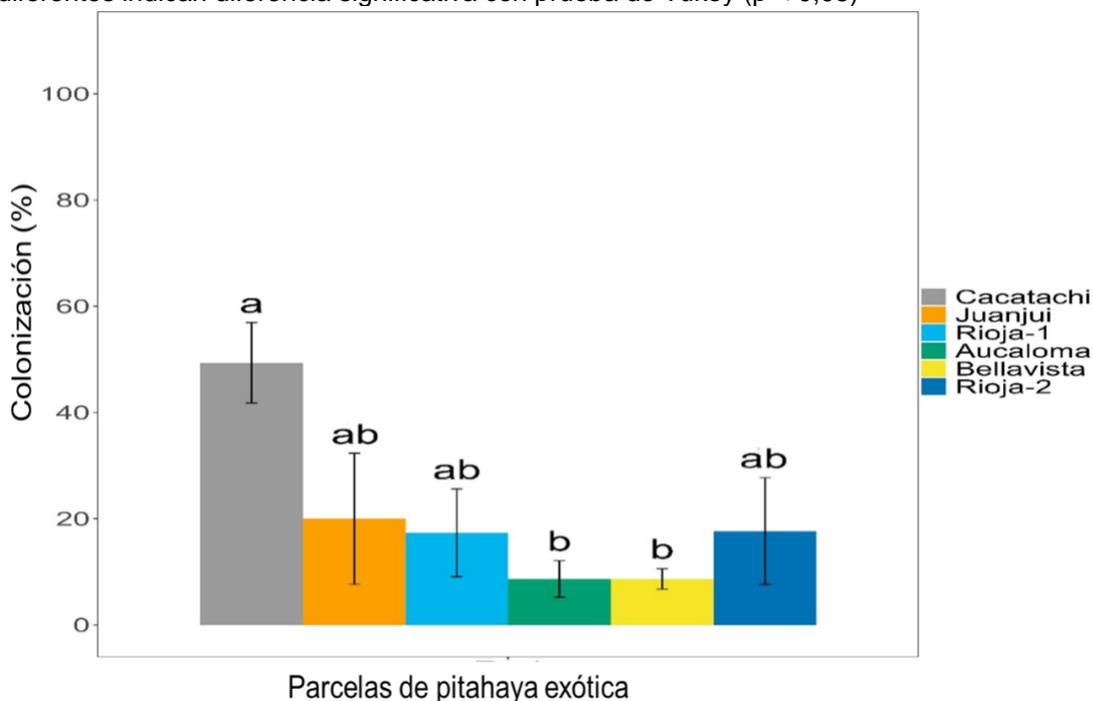


Figura 20

Porcentaje de colonización de pitahaya exóticas en relación a localidades muestreadas. Las letras diferentes indican diferencia significativa con prueba de Tukey ($p < 0,05$).

En las Figuras 19 y 20, se presenta un análisis de varianza destinado a evaluar la colonización en las pitahayas exóticas y nativas en relación con las diversas localidades. Para las pitahayas exóticas, se destaca una diferencia significativa, evidenciando que la zona de Cacatachi exhibe el porcentaje más alto de colonización, alcanzando un 49.33%,

seguida por Rioja con un 20%. En contraste, en las pitahayas nativas, no se observa una diferencia significativa en cuanto a la colonización.

La variabilidad en el porcentaje de colonización en distintas localidades, como se observa en Rioja para las pitahayas nativas y también en Aucaloma y Bellavista para las pitahayas exóticas, podría atribuirse a la presencia o ausencia de nutrientes. Este fenómeno se debe a que la diversidad de hongos y la colonización micorrízica tienden a ser más notables en condiciones de bajo estado nutricional de las plantas o en suelos con bajos niveles de fertilidad, especialmente en relación al fósforo (P) (Smith y Read, 2008).

Es crucial destacar que aproximadamente el 80% de las plantas establecen una simbiosis micorrízica arbuscular y se agrupan en el filo Glomeromycota (Schüßler *et al.*, 2001), lo que puede confirmarse en todas las localidades, tanto para las pitahayas nativas como exóticas, confirmándose la colonización micorrízica, estos resultados concuerdan con lo reportado previamente por Arteaga (2019), quien observó un porcentaje de colonización que oscilaba entre el 26% y el 30%, en el cultivo de café predominando en los suelos de las provincias de Lamas, Moyobamba y El Dorado.

En investigaciones adicionales, Carballar (2009) obtuvo porcentajes de colonización que variaban del 30% al 78%. En su estudio, no encontró diferencias significativas en los valores promedio de colonización de especies de *Agave* en México, con la excepción de *Agave potatorum*, que presentó la colonización promedio más alta, llegando al 69%. Es importante destacar que la capacidad de colonización radicular varía según la familia de HMA a la que pertenecen. Por ejemplo, los hongos de la familia Glomerales tienden a colonizar principalmente sistemas de raíces a partir de un fragmento hifal, mientras que la colonización de raíces por Diversisporales comienza a partir de esporas (Hart y Reader, 2002). Este patrón de colonización sugiere la influencia de diversos factores locales en la interacción entre las pitahayas y los HMA, subrayando la importancia de considerar las condiciones específicas de cada localidad en futuros estudios sobre estas relaciones simbióticas

CONCLUSIONES

- La identificación morfológica de las especies de Hongos Micorrízicos Arbusculares asociadas a las pitahayas nativas y exóticas proporcionó un panorama detallado de la diversidad de estos microorganismos en los cultivos de pitahaya en San Martín, en la cual se obtuvo una riqueza de 40 especies en pitahaya exótica y 37 especies pitahaya nativa, agrupadas en 8 familias y 17 géneros, siendo el género más representativo *Acaulospora*. Además, se reporta por primera vez 27 nuevos registros morfológicos para el Perú; de esta manera se logró una caracterización efectiva de las especies HMA presentes en el suelo rizosférico de las pitahayas, sentando las bases para comprender la relación específica entre las plantas y los hongos micorrízicos en la región.

- La determinación del porcentaje de colonización micorrízica en las raíces de pitahaya nativa y exótica reveló variaciones significativas en diferentes localidades de la región San Martín. Además, la colonización micorrízica fue confirmada en ambos ecosistemas de pitahaya, subrayando la importancia de la simbiosis entre las plantas y los HMA en condiciones edáficas diversas.

- La comparación de la estructura comunitaria de los HMA en pitahayas nativas y exóticas demostró que las condiciones edáficas en San Martín influyen en la composición de estas comunidades, así las diferencias observadas en la estructura comunitaria resaltan la adaptabilidad de los HMA a las variaciones en factores como el pH del suelo, la textura y otros atributos edáficos

RECOMENDACIONES

- Realizar estudios metagenómicos, con la finalidad de identificar que especies se encuentran en actividad simbiótica con el sistema radicular de las pitahayas.
- Considerar un monitoreo continuo de la diversidad de especies HMA en los cultivos de pitahaya, considerando la variabilidad de las condiciones edáficas a lo largo del tiempo.
- Para comprender mejor la interacción entre las pitahayas y los HMA, realizar estudios más detallados sobre la influencia de factores edáficos específicos, como el pH, la textura del suelo y la concentración de nutrientes.
- Implementar programas de educación y concientización dirigidos a los agricultores locales sobre la importancia de los HMA en el rendimiento de los cultivos, promoviendo prácticas que favorezcan su presencia y diversidad.
- Dada la complejidad de las interacciones entre las pitahayas y los HMA, se recomienda la realización de investigaciones adicionales que profundicen en la dinámica de esta simbiosis, especialmente en relación con la variabilidad climática y las prácticas agrícolas específicas de la región de San Martín.
- Se sugiere la evaluación del potencial biofertilizante o bioprotector de los hongos micorrízicos dominantes en el cultivo de pitahaya.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abirami, K., Sakthivel, K., Sheoran, N., Baskaran, V., Gautam, R. K., Jerard, B. A., Kumar, A. 2019. Occurrence of Anthracnose Disease Caused by *Colletotrichum siamense* on Dragon Fruit (*Hylocereus undatus*) in Andaman Islands, India. *Plant Disease*, 103(4), 768–768. <https://doi.org/10.1094/PDIS-09-18-1489-PDN>
- Acosta Córdova, R. A. 2021. *Estudio de la diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en el cultivo de Sacha Inchi (Plukenetia volubilis L.), en la región San Martín.* (Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo) Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. Repositorio - UNSM: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/4124>
- Alarcón, A., & Ferrera, C. R. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*, 17, 179–191.
- Aguilar, W., Arce, P., Galiano, M. F., & Torres Cruz, T. J. 2015. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Tecnología en Marcha*, vol. Especial Biocontrol, 5–14.
- Aguilar-Ulloa, W., Arce-Acuña, P., Galiano-Murillo, F., & Torres-Cruz, T. J. 2016. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. *Tecnología En Marcha*, 29(7), 5–14. <https://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>
- Amf-phylogeny.com. 2023. *Amf-Phylogeny.com*. <http://www.amf-phylogeny.com/>
- Andrade, R., Martins, A. B., & Silva, M. T. 2007. Influência da fonte material e do tempo de cura na propagação vegetativa da pitaya vermelha (*Hylocereus undatus* Haw). *Revista Brasileira de Fruticultura*, 29(1), 183–186.
- Arteaga Alejandría, E. 2019. *Identificación de la diversidad y colonización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) nativos, en el cultivo de café (Coffea arabica L.), en cuatro provincias (El Dorado, Lamas, San Martín y Moyobamba) en la región San Martín.* (Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/>
- Balendres, M. A., & Bengoa, J. C. 2019. Diseases of dragon fruit (*Hylocereus* spp): Etiology and current management options. *Crop Protection*, 126, e104920.

- Baltruschat, H., Santos, V., da Silva, D., Schellenberg, I., Deubel, A., Sieverding, E., Oehl, F. 2019. Unexpectedly high diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in fertile Chernozem croplands in Central Europe. *CATENA*, 182, 104135. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104135>
- Barrer, S. E. 2009. El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de ciencias agropecuarias*, 7(124 - 131). <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/706/334>
- Barrios, L. 2017. *Selección de morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para la producción de abono verde en el cultivo de taro (Colocasia esculenta), en el distrito de San Roque de Cumbaza, región San Martín*. (Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/1423>
- Barrer, S. E. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. *Facultad de ciencias agropecuarias*, 7(124 - 131). <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/706/334>
- Barrios, L. 2017. *Selección de morfotipos de hongos micorrízicos arbusculares nativos predominantes de suelos degradados asociados a plantas de cobertura de la sub cuenca del Cumbaza*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú. <http://hdl.handle.net/11458/2585>
- Begum, N., Qin, C., Ahanger, M. A., Raza, S., Khan, M. I., Ashraf, M., Ahmed, N., & Zhang, L. 2019. Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Plant Growth Regulation: Implications in Abiotic Stress Tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1068. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01068>
- Birhane, E., Sterck, F., Fetene, M., Bongers, F., & Kuyper, T. 2012. Los hongos micorrízicos arbusculares mejoran la fotosíntesis, la eficiencia en el uso del agua y el crecimiento de las plántulas de incienso en condiciones de disponibilidad de agua pulsada. *Oecologia*, 169, 895–904. <https://doi.org/10.1007/s00442-012-2258-3>
- Błaszowski, J. 2012. Glomeromycota. W. Szafer Institute of Botany, *Polish Academy of Sciences*.
- Błaszowski, J., Sánchez-García, M., Niezgoda, P., Zubek, S., Fernández, F., Vila, A., Al-Yahya'ei, M. N., Symanczik, S., Milczarski, P., Malinowski, R., Cabello, M., Goto, B. T., Casieri, L., Malicka, M., Bierza, W., & Magurno, F. 2022. A new order,

- Entrophosporales, and three new Entrophospora species in Glomeromycota. *Frontiers in Microbiology*, 13, 962856. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.962856>
- Brundrett, M. 1996. *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Monograph 32. Canberra, Australia.
- Brundrett, M. C., Abbott, L. K., & Jasper, D. A. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical Australia. *Mycorrhiza*, 8(6), 305-314.
- Brundrett, M. C., Bougher, N. L., Dell, B., & Malajczuk, N. 1996. *Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture*. ResearchGate; Australian Centre for International Agricultural Research.
- Brundrett, Mark C., & Tedersoo, L. 2018. Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity. *New Phytologist*, 220(4), 1108–1115. <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Bustamante-Gonzalez, C. A., Ferras-Negrin, Y., Hernandez-Forte, L., & Rivera-Espinosa, R. 2022. Beneficios del intercalamiento de Canavalia inoculada con hongos micorrízicos y Rhizobium en Coffea canephora. *Agronomía mesoamericana*, 33(2), 46288. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v33i2.46288>
- Campaña, L., et al. 2018. Caracterización molecular del microbiota rizosférica nativa de Opuntia ficus-indica y evaluación de los efectos de cepas microbianas aisladas sobre el desarrollo del cactus. *Manglar*, 14(1), 3-11.
- Carballar, H. 2009. *Variación temporal de la diversidad de hongos de micorriza arbuscular y el potencial micorrizico en especies silvestres de Agave en Oaxaca*. Tesis (Magister en Ciencias de la Conservación y Aprovechamiento de Recursos Naturales). México. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Regional Unidad-Oaxaca. pp 26-45. Tesis en línea
- Carrara, J. E., Walter, C. A., Hawkins, J. S., Peterjohn, W. T., Averill, C., & Brzostek, E. R. 2018. Interactions among plants, bacteria, and fungi reduce extracellular enzyme activities under long-term N fertilization. *Global Change Biology*, 24, 2721–2734. <https://doi.org/10.1111/gcb.14081>
- Ceulemans, T., Van, G., Jacquemyn, H., Boeraeve, M., Plue, J., & Saar, L. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi in European grasslands under nutrient pollution. *Global Ecology and Biogeography*, 28, 1796–1805. <https://doi.org/10.1111/geb.12994>

- Corazon-Guivin, M. A., Vallejos-Tapullima, A., Sota-Ricaldi, A. M. de la, Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J. C., Santos, V., Silva, G. A. da, & Oehl, F. 2021. *Acaulospora flava*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from *Coffea arabica* and *Plukenetia volubilis* plantations at the sources of the Amazon River in Peru. *Journal of Applied Botany and Food Quality*, 94, 116–123.
- Corazon-Guivin, M. A., Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A., Carballar-Hernández, S., da Silva, G. A., & Oehl, F. 2019a. *Microkamienskia* gen. nov. and *Microkamienskia peruviana*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from Western Amazonia. *Nova Hedwigia*, 109(3–4), 355–368. https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2019/0551
- Corazon-Guivin, M. A., Cerna-Mendoza, A., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A., Carballar-Hernández, S., da Silva, G. A., & Oehl, F. 2019b. *Nanoglomus plukenetiae*, a new fungus from Peru, and a key to small-spored Glomeraceae species, including three new genera in the “Dominikia complex/clades. *Mycological Progress*, 18(12), 1395–1409. <https://doi.org/10.1007/s11557-019-01522-1>
- Corazon-Guivin, M. A., Mendoza, A. C., Guerrero-Abad, J. C., Vallejos-Tapullima, A., Carballar-Hernández, S., Da Silva, G. A., & Oehl, F. 2019c. *Funneliglomus*, gen. nov., and *Funneliglomus sanmartinensis*, a new arbuscular mycorrhizal fungus from the Amazonia region in Peru. *Sydowia*, 71, 17–24. <https://doi.org/10.12905/0380.sydowia71-2019-0017>
- Corazon-Guivin, M. A., Vallejos-Tapullima, A., Rengifo-Del Aguila, S., Rondinel-Mendoza, N. V., Hernández-Cuevas, L. V., Carvajal-Vallejos, F. M., & Carballar-Hernández, S. 2022. Influence of substrate properties on communities of arbuscular mycorrhizal fungi isolated from agroecosystems in Peru. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 4784-4797. <https://doi.org/10.1007/s42729-022-00960-3>
- Cordova, S. D. 2023. *Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en diferentes ecosistemas de cacao (Theobroma cacao) en San Martín, Amazonas, Cusco y Ayacucho–Perú*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Corzo, L. J., Bautista, M. E., Gómez, Y. M., & Torres, L. G. 2016. Frutas de cactáceas: Compuestos bioactivos y sus propiedades nutraceuticas. *Alimentos Funcionales de Hoy*, 1(1), 35–66.
- Crane, J. H., & Balerdi, C. F. 2019. Pitaya (Dragonfruit) Growing in the Florida Home Landscape. IFAS Extension, *University of Florida*.

- Da Silva I.R., de Souza F.A., da Silva D.K.A., Oehl F., Maia L.C. 2017. Patrones de distribución fúngica de micorrizas arbusculares en ecosistemas de planicies costeras arenosas continentales e insulares. *Ecología microbiana*, 74, 654–669.
- Da Silva, G. A., Corazón-Guivin, M. A., de Assis, D. M. A., et al. 2023. Blaszkowskia, un nuevo género de Glomeraceae. *Mycol Progreso*, 22, 74. <https://doi.org/10.1007/s11557-023-01919-z>
- Dewir, Y. H., Habib, M. M., Alaizari, A. A., Malik, J. A., Al-Ali, A. M., Al-Qarawi, A. A., & Alwahibi, M. S. 2023. Promising application of automated liquid culture system and arbuscular mycorrhizal fungi for large-scale micropropagation of red dragon fruit. *Plants*, 12(5), 1037. <https://doi.org/10.3390/plants12051037>
- De la Sota Ricaldi, A. M., Rengifo del Águila, S., Blas Sevillano, R., López-García, Á., & Corazon-Guivin, M. A. 2023. La diversidad beta de las comunidades de micorrizas arbusculares aumenta con el tiempo después del establecimiento del cultivo del sachá inchi peruano (*Plukenetia volubilis*). *J. Hongos*, 9, 194. <https://doi.org/10.3390/jof9020194>
- Díaz, S., & Cabido, M. 2001. Vive la différence: plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends in Ecology and Evolution*, 16(11), 646-655.
- Díaz, T. M. 2022. *Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantaciones de café y bosques de San Martín, Perú*. (Tesis para optar el grado de Ingeniero Agrónomo). Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Díaz-Franco, A., Magallanes-Estala, A., Aguado-Santacruz, A., & Hernández-Mendoza, J. L. 2015. Respuesta de la soya a inoculantes microbianos en el norte de Tamaulipas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 227-238.
- Dodd, J. C., Arias, I., Koomen, I., & Hayman, D. S. 1990. El manejo de poblaciones de hongos micorrízicos vesiculares-arbusculares en suelos ácidos infértiles de un ecosistema de sabana: I. El efecto del pre-cultivo y la inoculación con hongos VAM en el crecimiento y nutrición de las plantas en el campo. *Planta y suelo*, 122, 229-240.
- Fichas Región. 2021. *Www.gob.pe*.
- Frank, B. 1885. Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 3(4), 128–145. doi:10.1111/j.1438-8677.1885.tb04240

- Goto, B. T., Silva, G. A., Assis, D. M. A. de, Silva, D. K. A., Souza, R. G., Ferreira, A. C. A., ... & Oehl, F. 2012. Intraornatosporaceae (Gigasporales), a new family with two new genera and two new species. *Mycotaxon*, 119(1), 117–132. <https://doi.org/10.5248/119.117>
- Goto, B. T., & Jobim, K. 2022. Laboratório de Biologia de Micorrizas. *Departamento de Botânica e Zoologia - Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte (UFRN)*. <https://glomeromycota.wixsite.com/lbmicorrizas/home>
- Gough, E. C., Owen, K., Zwart, R. S., & Thompson, J. 2020. A Systematic Review of the Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Root-Lesion Nematodes, *Pratylenchus* spp. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00923>
- Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F., Hernández García, M. Á., & Sánchez González, A. (Year). Ecología de las plantas epífitas. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 101-111.
- Hart, M.; y Reader, R. 2002. Taxonomic basis for variation in the colonization strategy of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 153, 335e344. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0028-646X.2001.00312>.
- Geml, J. 2017. Altitudinal Gradients in Mycorrhizal Symbioses. In: Tedersoo, L. (eds) Biogeography of Mycorrhizal Symbiosis. *Ecological Studies*, vol 230. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-56363-3_5
- Hernandez O, A; Andrade L, M; Vargas R, R. 2021. Producción de pitahaya para promover el desarrollo regional y sustentable. *Claridades agropecuarias* 82 (2000) 79 – 92.
- Herrera C, I. 2019. *Ocurrencia de hongos de micorriza arbuscular en caoba (Swietenia macrophylla), Ucayali* – Universidad Nacional del Santa. En Repositorio Institucional – UNS. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3458>.
- Hsieh, T.C., Ma, K.H., Chao, A. 2016. NEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). *Methods in Ecology and Evolution*, 7, 1451–1456.
- Jamiołkowska, A., Księżniak, A., Gałązka, A., Hetman, B., Kopacki, M., Skwaryło-Bednarz, B. 2018. Impact of abiotic factors on development of the community of arbuscular mycorrhizal fungi in the soil: a review. *International Agrophysics*, 32, 133–140. <https://doi.org/10.1515/intag-2016-0090>

- Kivlin, S.N., Hawkes, C.V., Treseder, K.K. 2011. Global diversity and distribution of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 43, 2294–2303. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.07.012>
- Lahbouki, S., Anli, M., El Gabardi, S., Ait-ElMokhtar, M., Ben-Laouane, R., Boutasknit, A., Ait-Rahou, Y., Outzourhit, A., Wahbi, S., Douira, A., Meddich, A. 2021. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost supplementation on growth, phenolic content and antioxidant activity of prickly pear cactus (*Opuntia ficus-indica*). *Plant Biosystems*.
- Loss, A., Angelini, G.A.R., Pereira, A.C.C., Lã, O.R., Magalhães, O.R., Silva, E.M.R., Saggini Junior, O.J. 2009. Chemical attributes of soil occurrence of mycorrhizal fungi under areas of pasture and agroforest systems, Brazil. *Acta Agronomica*, 58, 91–95.
- Lovera, M.; Cuenca, G. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y potencial micorrízico del suelo de una sábana natural y una sábana perturbada de la gran sabana, Venezuela. *Interciencia*, 32(2), 108-114.
- Luong, H., Kieu, B., Vu, T., Ha, T., Tong, H., Hua, T., Nguyen, N., Nguyen, T. 2017. Study on the possibility of using microorganisms as biological agents to control fungal pathogens *Neoscytalidium dimidiatum* causing disease of brown spots on the dragon fruit. *Journal of Vietnamese Environment*, 8, 41-44. <https://doi.org/10.13141/jve.vol8.no1.pp41-44>.
- Ma, Y., Zhang, H., Wang, D., Guo, X., Yang, T., Xiang, X., Walder, F., Chu, F. 2021. Differential responses of arbuscular mycorrhizal fungal communities to long-term fertilization in the wheat rhizosphere and root endosphere. *Applied and Environmental Microbiology*, 87, 1–13. <https://doi.org/10.1128/AEM.00349-21>
- Magurrán, A.E. 1988. *La diversidad ecológica y su medición*. C. Helm (Ed.). Princeton University Press.
- Mahmoudi, N., Mosbah Mahdhi, & Mars, M. (2021). Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Adaptation to Arid Ecosystem of Bou-Hedma National Park in Tunisia. *IntechOpen EBooks*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92087>
- Mangalassery, S., Sjögersten, S., Sparkes, D.L., Sturrock, C.J., Mooney, S.J. 2013. The effect of soil aggregate size on pore structure and its consequence on emission of

greenhouse gases. *Soil and Tillage Research*, 132, 39–46.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2013.05.003>

- Marinho, F., Da Silva, I.R., Oehl, F., Maia, L.C. 2018. Checklist of arbuscular mycorrhizal fungi in tropical forests. *Sydowia*, 70, 107–127.
- Márquez Dávila, K.J.; Vega Jara, L.; Alvarez Benaute, LM. 2021. *Glosario de términos agronómicos*. Universidad Nacional Hermilio Valdizán – Huanuco.
- MIDAGRI 2021a. Tendencias del Mercado de Pitahaya, Retos y Oportunidades. Sierra y Selva Exportadora, Unidad de Inteligencia Comercial, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Lima, Perú.
- MIDAGRI 2021b. Análisis de mercado. Sierra y Selva Exportadora, Unidad de Inteligencia Comercial, Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Lima, Perú.
- Mizrahi, Y., & Nerd, A. 1999. Cactus trepadores y columnares: Nuevos cultivos frutales de tierras áridas. En *Perspectives on new crops and new uses*. págs. 358–36
- Moína Quimí, E., Oviedo Anchundia, R., Nieto Baeciona, S., Herrera Sarmiento, P., & Barco Arias, M. 2018. Evaluación de los hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador. *Bionatura*, 3(1), 531–536.
- Montesinos, J., Rodríguez, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruiz, G., & Guevara, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus* spp.) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco mexicano. *Cultivos Tropicales*, 36, 67-76. doi:ISSN: 1819-4087
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. Zaragoza, España: M&T–Manuales y Tesis SEA. 84 p.
- Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., & Reinhardt, D. 2014. Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Petunia hybrida*. *PLOS ONE*, 9(3), e90841.
- Ochoa-Velasco, C. E., García-Vidal, V., Luna-Guevara, J. J., Luna-Guevara, M. L., Hernández-Carranza, P., & Guerrero-Beltrán, J. J. 2012. Características antioxidantes, fisicoquímicas y microbiológicas de jugo fermentado y sin fermentar de tres variedades de pitahaya (*Hylocereus* spp). *Scientia Agropecuaria*, 3, 279-289.
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.04.02>
- Oehl, F., Laczko, E., Oberholzer, H.-R., Jansa, J., & Egli, S. 2017. Diversity and biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, 53(7), 777–797. <https://doi.org/10.1007/s00374-017-1217-x>

- Oehl, F., Sieverding, E., Palenzuela, J., Ineichen, K., & Silva, A. G. 2011. Advances in Glomeromycota taxonomy and classification. *IMA Fungus*, 2(2), 191–199. doi:10.5598/ima fungus.2011.02.02.10
- Oehl, F., Silva, G. A. D., Goto, B. T., Costa Maia, L., & Sieverding, E. 2011a. Glomeromycota: two new classes and a new order. *Mycotaxon*, 116, 365–379. DOI: 10.5248/116.365
- Pérez Moreno, J., & Read, D. J. 2004. Los hongos ectomicorrízicos, lazos vivientes que conectan y nutren a los árboles en la naturaleza. *Interciencia*, 29(5), 239–247.
- Pérez P, P. J. 2013. *Diversidad de Hongos Micorrízicos Arbusculares en un gradiente altitudinal en el Parque Nacional Izta-Popo* (Tesis para obtener el título de bióloga). Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Carrera de Biología, Laboratorio de Biología de Suelos, Mexico.
- Pontes, J. S., Oehl, F., Marinho, F., Coyne, D., Silva, D. K. A., Yano-Melo, A. M., & Maia, L. C. 2017. Diversity of arbuscular mycorrhizal hongos en Caatinga de Brasil y experimental agroecosistemas. *Biotropica*, 49, 413–427.
- Prates, J., Moreira, B. C., da Silva, M., Veloso, T., Stürmer, S. L., Fernandes, R., & Mendonça, E. S. 2019. Agroecological coffee management increases arbuscular mycorrhizal fungi diversity. *PLoS One*, 14(1).
- Quezada, S. M. R. A. 2016. *Hongos micorrízicos arbusculares nativos presentes en la rizosfera de Opuntia ficus - indica en suelos áridos de Tumbes, Perú*. (Tesis para obtener el título profesional de biólogo). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad De Ciencias Biológicas, Escuela Académico Profesional De Ciencias Biológicas.
- Raven, J. A., Lambers, H., Smith, S. E., & Westoby, M. 2018. Costs of acquiring phosphorus by vascular land plants: patterns and implications for plant coexistence. *New Phytologist*, 217(4), 1420–1427. <https://doi.org/10.1111/nph.14967>
- Real Academia Española. 2020. Diccionario de la lengua española. Edición del tricentenario.
- Redecker, D., Schüßler, A., Stockinger, H., Stürmer, S. L., Morton, J. B., & Walker, C. 2013. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota). *Mycorrhiza*, 23(7), 515–531. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0486-y>

- Rengifo Del Aguila, S. 2020. *Identificación y comparación molecular de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares asociados a Coffea arabica L. de diferentes edades y características de suelo en la región San Martín*. Sunedu.gob.pe
- Rojas-Mego, K. C., Elizarbe-Melgar, C., Gárate-Díaz, M. H., Ayala-Montejo, D., Ruíz-Cubillas, P., Sieverding, E. 2014. Hongos de micorriza arbuscular en tres agroecosistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 23, 149-156.
- Rozek, K., Rola, K., Blaszkowski, J., Leski, T., Zubek, S. 2020. How do monocultures of fourteen forest tree species affect arbuscular mycorrhizal fungi abundance and species richness and composition in soil? *Ecology and Management*, 465, 118091. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118091>
- Saldaña, T., Juarez, J. J., & Villar, C. 2014. Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Saberes y Ciencias*. <http://saberesyciencias.com.mx/2014/04/01/las-plantas-epifitas-su-diversidad-e-importancia/>
- Sánchez, A. L. 2015. *Variación de la población de hongos micorrízicos arbusculares en un suelo agrícola por efecto de la aplicación de vinazas de la industria del tequila*. (Tesis para obtener el grado académico de maestro en ciencia y tecnología en la especialidad de ingeniería ambiental). Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Guadalajara, México.
- Saranya, K., & Kumutha, K. 2011. Standardization of the substrate material for large scale production of arbuscular mycorrhizal inoculum. *International Journal of Agricultural Sciences*, 3, 71–77. <https://doi.org/10.9735/0975-3710.3.1.71-77>
- Sarmiento, F. O. (1974). *Diccionario de ecología: paisajes, conservación y desarrollo sustentable para Latinoamérica*. Quito, Ecuador: Centro de estudios para Latinoamérica y el Caribe, Universidad de Georgia, ATHENS.
- Schüßler, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105(12), 1413–1421. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196>
- Senamhi - San Martín. (2020). *Senamhi.gob.pe*
- Silva, S., Eduarda, M., Gabriel, Luiza, M., Oliveira, P., & Janaína, R. (2022). Levantamento bibliográfico sobre a associação de rizóbios e fungos micorrízicos arbusculares em *Vigna unguiculata* L. Walp. (feijão-caupi). *Research, Society and Development*, 11(13), e297111335412-e297111335412. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35412>

- da Silva, A. M. G. B., Inomoto, M. M. 2023. Effect of the southern root-knot nematode on white pitahaya growth. *Tropical Plant Pathology*, 48(6), 357–361. <https://doi.org/10.1007/s40858-023-00572-x>
- Smith, S., & Read, D. 2008. Mycorrhizal Symbiosis. *El Sevier Edition*. Third Edition. 10-90.
- Smith, S. E., & Read, D. J. 1997. Mycorrhizal Symbiosis. Academic Press. *Cambridge, MA, EEUU*. 605 pp.
- Souza, V. H. M. de, Inomoto, M. M., Silva, A. M. G. B., & Souto, T. G. 2022. First report of *Meloidogyne incognita* infecting white Pitahaya plants. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 44(1). <https://doi.org/10.1590/0100-29452022822>
- Symanczik, S., Al-Yahya'ei, M. N., Kozłowska, A., Ryszka, P., & Błaszowski, J. 2018. A new genus, *Desertispora*, and a new species, *Diversispora sabulosa*, in the family Diversisporaceae (order Diversisporales, subphylum Glomeromycotina). *Mycological Progress*, 17(4), 437–449. <https://doi.org/10.1007/s11557-017-1369-y>
- Taba, S., Miyahira, N., Nakazato, M., Suzuki, M., Suwa, R., Sekine, K. 2021. Ecology of pitaya stem rot caused by *Gilbertella persicaria* and its biological control by phyllosphere bacteria. *Plant Pathology*.
- Tapia Goné, J., Ferrera Cerrato, R., Varela Fregoso, L., Rodríguez Ortiz, J. C., Lara Mireles, J., Soria Colunga, J. C., Cuellar Torres, H., Tiscareño Iracheta, M. A., & Cisneros Almazán, R. 2008. Caracterización e identificación morfológica de hongos formadores de micorriza arbuscular, en cinco suelos salinos del estado de San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Micología*, 26, 1-7.
- Thompson, I., B. Mackey, S. McNulty, A. Mosseler. 2009. Forest Resilience, Biodiversity, and Climate Change. A synthesis of the biodiversity/resilience/stability relationship in forest ecosystems. *Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal*. Technical Series 43: 67 p.
- Torres-Arias, Y., Fors, R. O., Nobre, C., Gómez, E. F., & Berbara, R. L. L. 2017. Production of native arbuscular mycorrhizal fungi inoculum under different environmental conditions. *Brazilian Journal of Microbiology*, 48, 87–94. <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.012>
- Trinidad Cruz, J. R., Quiñones Aguilar, E. E., Hernández Cuevas, L. V., López Pérez, L., & Rincón Enríquez, G. 2017. Hongos micorrízicos arbusculares asociados a la rizosfera de *Agave cupreata* en regiones mezcaleras del estado de Michoacán, México. *Scientia Fungorum*, 45(1), 13–25.

- Ulfah, M., Fajri, S. N., Nasir, M., Hamsah, K., & Purnawan, S. 2019. Diversity, evenness and dominance index reef fish in Krueng Raya Water, Aceh Besar. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 348(1), 012074. <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/348/1/012074>
- Vaillant, F., Pérez, A., Dávila, I., Dornier, M., & Reynes, M. 2005. Colorant and antioxidant properties of red-purple pitahaya (*Hylocereus* sp.). *Fruits*, 60(1), 3-12. <https://doi.org/10.1051/fruits:2005007>
- Vallejos-Torres, G., Espinoza, E., Marín-Díaz, J., Solis, R., & Arévalo, L. A. 2021. The role of arbuscular mycorrhizal fungi against root-knot nematode infections in coffee plants. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 21, 364–373.
- Vallejos-Torres, G., Sánchez, T., García, M. A., Trigoso, M., & Arévalo, L. A. 2019. Efecto de hongos formadores de micorrizas arbusculares en clones de *Coffea arabica*, variedad caturra en Perú. *Acta Agronómica*, 68, 278–284.
- Vega, F. M. 2011. *Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares y potencias micorrízico de dos agroecosistemas y una zona natural del estado de Michoacán, México*. (Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias biológicas) Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, Facultad de Biología.
- Vega-Herrera, S. S., Stürmer, S. L., & Damiani, C. R. 2022. Glomeromycota in Peru: An overview and future approaches. *Sydowia*, 75. <https://DOI.org/10.12905/0380.sydowia75-2023-0087>.
- Verona R, A., Urcia C, J., & Paucar M, L. M. 2020. Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 439-453.
- Vierheilig, H., Coughlan, A. P., Wyss, U. P., & Yves Piché. 1998. Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(12), 5004–5007. <https://doi.org/10.1128/aem.64.12.5004-5007.1998>.
- Wiedermann W, & Hagmann M. 2016. Asymmetric properties of the Pearson correlation coefficient: Correlation as the negative association between linear regression residuals. *Communications in Statistics - Theory and Methods*, 45(21), 6263-6283.
- Wijayawardene, N., Hyde, K., Al-Ani, L., Tedersoo, L., Hawksworth, D., Fan, X., Dissanayake, L., Kuhnert, E., Grossart, H., Thines, M. 2020. Outline of fungi and

fungus-like taxa. *Mycosphere*, 11, 1060-1456.
<https://doi.org/10.5943/mycosphere/11/1/8>.

- Xiang, D., Verbruggen, E., Hu, Y., Veresoglou, S. D., Rillig, M. C., Zhou, W., Xu, T., Li, H., Hao, Z., Chen, Y., Chen, B. 2014. Land use influences arbuscular mycorrhizal fungal communities in the farming–pastoral ecotone of northern China. *New Phytologist*, 204, 968-978. <https://doi.org/10.1111/nph.12961>.
- Xu, M., Li, X., Cai, X., Li, X., Christie, P., Zhang, J. 2017. Land use alters arbuscular mycorrhizal fungal communities and their potential role in carbon sequestration on the Tibetan Plateau. *Scientific Reports*, 7, 3067. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-03248-0>.
- Xu, T., Veresoglou, S., Chen, Y., Rillig, M., Xiang, D., Ondrej, D. 2016. Plant community, geographic distance, and abiotic factors play different roles in predicting AMF biogeography at the regional scale in northern China. *Environmental Microbiology Reports*, 8, 1048–1057. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12485>.
- Yang, H., Dai, Y., Wang, X., Zhang, Q., Zhu, L., & Bian Xin-min. 2014. Meta-Analysis of Interactions between Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Biotic Stressors of Plants. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2014/746506>.
- Yang, W., Gu, S., Xin, Y., Bello, A., Sun, W., Xu, X. 2018. Compost addition enhanced hyphal growth and sporulation of arbuscular mycorrhizal fungi without affecting their community composition in the soil. *Frontiers in Microbiology*, 9, 169. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00169>.
- Yao, Q., Gao, J., Zhu, H., Long, L., Xing, Q., & Chen, J. 2010. Evaluation of the potential of trap plants to detect arbuscular mycorrhizal fungi using polymerase chain reaction-denaturing gradient gel electrophoresis analysis. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56, 205-211.
- Zee, F., Yen, C., & Nishina, M. 2004. Dragon Fruit, Strawberry Pear. Cooperative Extension Service, College of Tropical Agriculture and Human Resources, *University of Hawaii at Mānoa*, 1(1), 1–3.

ANEXOS

ANEXO 1. Especies identificadas por punto de muestreo según tipo de pitahaya.

Tabla 28

Especies identificadas en pitahaya exótica.

NOMBRES	MJ - 01	MJ - 02	MJ - 03	MJ - 04	MJ - 05	MA - 01	MA - 02	MA - 03	MA - 04	MA - 05	M - C01	MC - 02	MC - 03	MC - 04	MC - 05	MR2-01	MR2-02	MR2-03	MR2-04	MR2-05	MB-01	MB-02	MB-03	MB-04	MB-05	MR-01	MR-02	MR-03	MR-04	MR-05	TOTAL	
<i>Acaulospora aspera</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
<i>Acaulospora alpina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Acaulospora bireticulata</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Acaulospora Cavernata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Acaulospora foveata</i>	0	0	0	0	0	0	3	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	4	22	
<i>Acaulospora mellea</i>	0	0	0	1	0	1	25	0	0	15	10	8	11	87	31	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	14	4	0	0	209	
<i>Acaulospora Morrowiae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	9	0	1	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	43
<i>Acaulospora reducta</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Acaulospora rehmii</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	4	

<i>Glomus magnicaule</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6		
<i>Glomus microcarpum</i>	0	0	0	0	0	0	10	0	$\frac{22}{1}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	9	2	1	0	1	0	29	0	15	53	18	366
<i>Glomus sp 1</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	3	3	4	0	0	0	9	6	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	37	
<i>Glomus sp3</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	14	0	5	41	
<i>Glomus tortuosum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	
<i>Paraglomus laccatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
<i>Septoglomus Constrictum</i>	1	0	0	0	0	0	3	13	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	29	
TOTAL	12	5	2	25	50	80	95	$\frac{16}{7}$	$\frac{75}{3}$	$\frac{63}{8}$	$\frac{19}{3}$	96	19	91	$\frac{10}{8}$	16	47	40	19	19	22	27	2	8	3	$\frac{12}{9}$	$\frac{17}{9}$	$\frac{18}{0}$	$\frac{11}{9}$	94	

Tabla 29

Especies identificadas en pitahaya nativa.

NOMBRES	SAUCE - 1a	SAUCE - 1b	SAUCE - 1c	SAUCE - 2a;2b	SAUCE - 3	SAUCE - 4a	SAUCE - 4b	SAUCE - 5	SAUCE - 5b	SAUCE - 6d	Sauce - 7b	RICU - 1a	RICU - 1b	RICU - 2	RICU - 3a	RICU - 3b	RICU - 4a	BELLA - 1a	BELLA - 2b	BELLA - 2d	BELLA - 3a	BELLA - 4a	BELLA - 5a	BELLA - 5b	RIOJA F	MOYO - 1b	MOYO - 3	RIOJA	TOTAL
<i>Acaulospora aspera</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
<i>Acaulospora excavata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Acaulospora foveata</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	2	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	10
<i>Acaulospora herrerae</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
<i>Acaulospora mellea</i>	0	0	0	0	1	0	0	51	34	109	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	28	5	9	239
<i>Acaulospora Morrowiae</i>	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Acaulospora reducta</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4
<i>Acaulospora reticulata</i>	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
<i>Acaulospora scrobiculata</i>	0	0	0	0	248	0	2	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	256
<i>Acaulospora sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	3	99	2	0	25	2	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	140
<i>Acaulospora sp2</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	0	90
<i>Acaulospora sp3</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	6	3	3	13
<i>Ambispora Sp1</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	2
<i>Ambispora sp2</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	6
<i>Clareideoglopus clarioideum</i>	5	3	7	0	108	0	15	0	4	0	3	1	0	7	3	2	0	3	3	1	1	0	2	0	10	0	0	0	178
<i>Clareideoglopus etunicatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Diversispora pustulata</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
<i>Entrophospora infrecuents</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Funneliformis geosporum</i>	7	0	5	7	5	3	57	25	15	36	4	1	0	5	4	1	0	4	2	4	2	0	0	6	135	9	4	11	352

<i>Funneliformis mosseae</i>	0	0	0	0	58	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	62	
<i>Funneliformis spinuliferum</i>	0	0	1	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	
<i>Gigaspora descipiens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Gigaspora gigantea</i>	0	0	0	0	0	0	3	7	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	18	
<i>Gigaspora margarita</i>	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	
<i>Glomus Macrocarpum</i>	0	0	0	2	0	0	3	5	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	36	
<i>Glomus microcarpum</i>	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	4	0	0	6	0	9	1	0	2	0	0	0	0	4	0	2	0	34
<i>Glomus sp 1</i>	0	0	0	297	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	297	
<i>Glomus sp 2</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	
<i>Nanoglomus plukenietae</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Paraglomus sp.1</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Rhizoglomus fasciculatum</i>	0	0	0	0	0	0	0	15	3	0	0	0	0	63	0	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	87
<i>Rhizoglomus intraradices</i>	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	
<i>Sclerocystis sinuosum</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Scutellospora sp.1</i>	26	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	
<i>Scutellospora sp.2</i>	0	0	0	8	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	
<i>Scutellospora sp.3</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	
<i>Septoglomus Constrictum</i>	10	0	5	27	0	0	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	50	
TOTAL	48	3	23	347	424	3	114	115	89	268	19	3	25	83	10	15	6	7	13	8	3	1	5	6	258	47	15	34

Anexo 2. Análisis fisicoquímico de suelo rizosférico de pitahaya nativa y exótica.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
 FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES



SOLICITANTE :
 PROVINCIA: SAN MARTÍN
 DISTRITO: MORALES

FECHA DE REPORTE: 22/03/2023
 CULTIVO:

N°	Análisis mecánico			Clase Textural	pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)						% Sat.	% Aci. Inter
	% Arena	% Arcilla	% Limo									Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	Al ⁺³ +H ⁺¹		
MB - 05	40	32	28	F Arcilloso	7.66	264.23	3.12	0.1	11.2	212.25	22	18.23	1.75	0.5	1.4	0	0	100	0
MR2 - 02	Turba				7.63	612.36	2.76	0.1	9.12	185.23	18	15.23	0.96	0.5	0.9			100	0
Sauce - 4b	Turba				6.9	536.23	2.21	0.1	8.23	165.23	14	12.12	0.85	0.4	0.8			100	0
MA - 02	52	32	16	F Arci Are	6.02	749.36	2.76	0.1	7.23	160.23	12	10.36	0.74	0.4	0.6			100	0
MB - 03	33.5	39	27.5	F Arcilloso	6.3	347.56	2.16	0.1	9.56	170.23	13	11.56	0.96	0.4	0.3			100	0
Sauce - 5b	25	41.5	33.5	Arcilla	6.36	98.2	1.76	0.1	10.9	196.32	14	12.23	0.65	0.5	0.5			100	0
May-03	32.6	42.23	25.17	Arcilla	5.18	182.36	2.68	0.1	6.23	132.56	11	9.56	0.56	0.3	0.2	0.36	0.86	97	7.8
MB - 05	33.56	39	27.44	F Arcilloso	8.07	178.69	2.01	0.1	14.2	221.23	25	21.23	1.56	0.6	1.4			100	0
MJ - 3	21.2	43.5	35.3	Arcilla	6.33	963.23	2.32	0.1	11.2	175.36	18	16.23	0.86	0.4	0.8			100	0
Bella - 2d	35.23	31.5	33.27	F Arcilloso	6.48	139.69	1.79	0.1	13.3	170.36	15	13.26	0.71	0.4	0.7			100	0
MJ - 1	30.56	45.36	24.08	Arcilla	6.03	844.23	3.64	0.2	10.4	163.25	12	10.23	0.56	0.4	0.6			100	0
Nativo - AG	Turba				3.44	653.23	2.76	0.1	2.63	32.12	5.4	3.21	0.12	0.1	0.1	1.86	2.23	65	42
Sauce - 1C	41.23	32.5	26.27	F Arcilloso	4.88	1742.23	2.41	0.1	6.23	56.32	7.7	5.85	0.23	0.1	0.2	1.32	1.75	83	23
MR - 4	52.6	32	15.4	F Arci Are	4.05	35.23	2.64	0.1	5.12	45.23	7.9	6.12	0.32	0.1	0.2	1.1	1.65	86	21
MR - 1	32.5	33.5	34	F Arcilloso	3.98	1174.25	2.16	0.1	4.02	36.25	7.1	4.96	0.26	0.1	0.2	1.63	2.1	77	29
MR2 - 3	31.2	42.36	26.44	Arcilla	6.28	109.36	3.16	0.1	10.2	196.36	21	19.36	1.12	0.5	0.23			100	0
MR2 - 1	25.5	41.36	33.14	Arcilla	7.28	386.25	3.65	0.2	15.2	256.36	24	21.32	1.32	0.7	0.64			100	0
MJ - 4	32.5	43.6	23.9	Arcilla	5.94	228.56	3.76	0.2	8.56	178.56	19	17.45	0.86	0.5	0.6			100	0
MJ - 5	33	41.25	25.75	Arcilla	5.5	452.2	4.16	0.2	7.45	168.56	7.2	6.12	0.42	0.4	0.2			100	0
MC - 5	50	31.2	18.8	F Arci Are	6.51	39.6	2.31	0.1	9.56	156.36	13	12.35	0.54	0.4	0.2			100	0
Laguna - 7	31.5	33.56	34.94	F Arcilloso	6.06	112.85	2.46	0.1	8.56	144.56	16	13.56	1.23	0.4	0.5			100	0
MC - 4	41.3	34.56	24.19	F Arcilloso	6.33	43.6	2.4	0.1	13.3	165.23	18	15.23	1.53	0.4	0.63			100	0
Ricuri - 1a	62.5	15.25	22.25	F Arenoso	6.07	233.89	2.47	0.1	10.2	123.25	16	14.12	1.12	0.3	0.5			100	0
Bella - 1	33.56	35	31.44	F Arcilloso	7.99	298.56	2.76	0.1	19.3	278.89	37	32.25	2.1	0.7	1.8			100	0
MR2 - 4	51	32.5	16.5	F Arci Aren	7.51	494.12	2.86	0.1	17.4	222.02	32	28.53	1.45	0.6	1.1			100	0
MA - 4	54.4	16.3	29.3	F Arenoso	5.85	446.56	2.05	0.1	8.63	163.25	14	12.12	0.96	0.4	0.6			100	0
MA - 1	57.5	32.2	10.3	F Arci Aren	5.74	187.35	2.33	0.1	7.25	152.12	12	10.12	0.85	0.4	0.4			100	0
Ricuri - 3b	54.23	28.52	17.25	F Arci Aren	6.42	241.25	2.61	0.1	18.6	210.23	22	18.65	1.25	0.5	1.1			100	0
Sauce - 5	56.36	18.53	25.11	F Arenoso	6.16	212.56	2.85	0.1	16.4	192.12	16	14.12	0.96	0.5	0.6			100	0
MC - 3	41.5	32.5	26	F Arcilloso	6.39	66.2	3.25	0.1	18.5	213.25	23	19.63	1.36	0.5	1.3			100	0
Bella - 3	26.35	37.5	36.15	F Arcilloso	6.01	240.15	2.46	0.1	12.2	175.23	15	13.25	0.86	0.4	0.7			100	0
Ricuri - 3b	48.56	32.5	18.94	F Arci Aren	5.87	1204.12	2.73	0.1	8.56	112.12	10	9.23	0.45	0.3	0.4			100	0
Bella - 2b	41.25	31.5	27.25	F Arcilloso	7.05	193.65	2.1	0.1	16.2	185.23	20	17.45	1.32	0.5	0.6			100	0
MR - 2	37.5	32.5	30	F Arcilloso	4.1	73.1	2.56	0.1	4.56	75.23	7.5	5.63	0.15	0.2	0.2	1.32	1.85	82	25
Bella - 5a	31.5	42.25	26.25	Arcilla	6.42	320.25	2.85	0.1	10.2	163.25	15	13.25	1.15	0.4	0.2			100	0
Bella - 5b	33.62	43.25	23.13	Arcilla	6.3	170.56	2.78	0.1	12.4	186.36	17	15.63	0.85	0.5	0.4			100	0
MO - 02	49.56	36.5	13.94	F Arci Aren	6.05	66.54	2.61	0.1	10.2	156.36	15	13.25	0.63	0.4	0.2			100	0
MR - 3	27.45	32.5	40.05	F Arcilloso	3.93	190.85	3.52	0.2	4.12	63.23	7.1	5.12	0.12	0.2	0.1	1.63	2.1	77	29
Sauce - 1	25.45	32.5	42.05	F Arcilloso	6.46	1140.23	2.32	0.1	12.1	185.23	18	15.23	0.96	0.5	0.9			100	0

Jr. Amorarca cdra 3
 Distrito de Morales
 Ciudad Universitaria

Email: cverde@unsm.edu.pe
 Telf: 985800927

Ing. Carlos Verde Girbau
 Lab de Análisis de Suelos y Aguas
 UNSM - TARAPOTO
 Facultad de Ciencias Agrarias



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES



SOLICITANTE :
PROVINCIA: SAN MARTÍN
DISTRITO: MORALES

FECHA DE REPORTE: 22/03/2023
CULTIVO:

N°	Análisis mecánico			Clase Textural	pH	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CIC	Cationes Cambiables (meq/100g)						% Sat. Bas.	% Ac. Inte
	%	%	%									Ca ⁺²	Mg ⁺²	K'	Na'	Al ⁺³	Al ⁺³ +H ⁺¹		
	Arena	Arcilla	Limo																
Sauce - 4a	54.23	18.53	27.24	F Arenoso	5.98	2456.32	1.75	0.1	6.89	123.25	9.8	8.56	0.23	0.3	0.7			100	0
Bella - 4	Turba				7.16	332.25	3.16	0.1	13.3	252.23	30	26.36	1.25	0.6	1.4			100	0
Laguna - 7b	35.36	32.12	32.52	F Arcilloso	7.66	306.25	2.76	0.1	18.5	263.25	36	31.23	2.12	0.7	1.6			100	0
MA - 03	37.8	39.5	22.7	F Arcilloso	6.76	252.3	2.12	0.1	12.4	196.32	20	17.23	1.1	0.5	0.9			100	0
Sace - 1b	49.63	33.25	17.12	F Arci Aren	6.4	2098.56	1.76	0.1	8.45	178.56	18	16.56	0.85	0.5	0.5			100	0
MB - 1	27.45	39.25	33.3	F Arcilloso	7.65	213.25	2.71	0.1	15.2	212.23	22	20.13	1.13	0.5	0.6			100	0
Moyo - 8b	61	32	7	F Arci Aren	6.45	145.36	3.21	0.1	13.3	186.35	15	13.25	0.78	0.5	0.4			100	0
MJ - 2	36.5	32	31.5	F Arcilloso	6.25	2104.23	2.68	0.1	12.3	174.23	17	15.36	0.96	0.4	0.3			100	0
Moyo - 1b	54	19	27	F Arenoso	6.93	415.23	2.41	0.1	15.2	212.36	22	19.36	1.32	0.5	0.6			100	0
MR2 - 5	56	17.5	26.5	F Arenoso	7.23	413.25	2.96	0.1	18.2	265.23	26	23.25	1.36	0.7	0.9			100	0
Sauce - 3	41	32	27	F Arcilloso	7.4	3563.25	3.64	0.2	19.6	296.36	36	31.23	1.89	0.8	2.3			100	0
Ricu - 3	35.5	43.25	21.25	Arcilla	6.79	204.56	3.25	0.1	15.2	198.56	20	16.56	2.1	0.5	0.9			100	0
Ricu - 2	51.5	26.36	22.14	F Arci Aren	6.6	101.63	2.76	0.1	12.1	188.25	16	14.23	0.96	0.5	0.7			100	0
MB - 2	35.5	31	33.5	F Arcilloso	6.98	190.52	2.21	0.1	16.4	212.12	23	20.12	1.32	0.5	1.1			100	0
Ricu - 1b	48.56	33.5	17.94	F Arci Aren	6.55	417.25	3.25	0.1	13.3	186.32	16	14.23	0.63	0.5	0.5			100	0
MC - 1	52.25	29.5	18.25	F Arci Aren	5.24	98.56	2.64	0.1	8.56	145.23	10	8.56	0.45	0.4	0.2	0.36	1.12	96	11
P. Naranjos	53.5	26.5	20	F Arci Aren	4.58	747.23	2.71	0.1	5.12	86.6	7.1	5.12	0.23	0.2	0.1	1.36	2.85	81	40
Sauce 2a,2b	Turba				5.52	2098.23	3.23	0.1	6.32	122.36	8.7	6.56	0.45	0.3	0.1	1.25	2.32	86	27
MR - 5	58.5	26.5	15	F Arci Aren	4.2	208.56	2.32	0.1	5.23	82.23	8.2	5.23	0.32	0.2	0.1	2.35	2.93	71	36
Laguna - 6d	Turba				5.24	672.52	3.78	0.2	7.12	123.36	8.5	6.85	0.52	0.3	0.2	0.63	1.12	93	13
Ricu - 4	Turba				7.68	477.56	2.94	0.1	15.2	232.12	23	19.63	1.36	0.6	1.2			100	0


Ing. Carlos Verde Girbau
Lab de Análisis de Suelos y Aguas
UNSM - TARAPOTO
Facultad de Ciencias Agrarias

Jr. Amorarca cdra 3
Distrito de Morales
Ciudad Universitaria

Email: cverde@unsm.edu.pe
Telf: 985800927

Anexo 2. Clave para la identificación morfológica de esporas de la familia Acaulosporaceae

1 esporas aparentemente no formadas en el tallo de sáculos esporíferos.

2

1' Las esporas generalmente se forman sobre o dentro del tallo de los esporíferos.

. 3

2 Esporas de color blanco a ocráceo pálido, 69-85 μm , IWL1 hialinas, con cuentas; IWL2 1,5-3,5 μm en PVLG, de color violeta intenso en reactivo de Melzer.

. *A. saccata* D. Redecker et al.

2' Esporas de color blanco cremoso a ocráceo pálido, 60-83 μm . IW no se tiñe en el reactivo de Melzer, excepto IWL1, que puede volverse amarillo ocre verdoso claro.

. *A. fragilissima* D. Redecker et al.

3 Esporas con una sola cicatriz en la base de la espora.

. 4

3' Esporas con dos cicatrices persistentes en la espora, proximal y distal al sáculo.

52

4 Esporas sin ornamentación en la pared exterior de esporas.

. 5

4' Esporas con ornamentación en la pared exterior de esporas.

23

5 Esporas generalmente $\leq 100 \mu\text{m}$

. 6

5' Esporas generalmente $> 100 \mu\text{m}$

12

6 Esporas de color crema hialino a amarillento pálido, 80-125 \times 80-110 μm ; OW se vuelve de un amarillo ligeramente más oscuro, pero IW se tiñe de rojo anaranjado en Melzer.

. *A. delicata* C. Walker et al.

- 6' Esporas de color amarillo u ocre a marrón amarillo claro a marrón anaranjado.
. 7
- 7 Esporas de color amarillo u ocre a marrón amarillento claro.
. 8
- 7' Esporas de color marrón amarillo oscuro a marrón anaranjado, (72-)95-105(-126) μ m. .
. *A. mellea* España y Carolina del Norte
Schenck
- 8 Esporas de superficie lisa.
9
- 8' Esporas con papilas o superficie rugosa.
10
- 9 Esporas sin reacción en el reactivo de Melzer, esporas de color amarillo pálido a marrón
amarillento, (55-)65(-75) μ m, una pared de cuentas no observada hasta ahora.
. *A. gedanensis*
Błaszcz.
- 9' Esporas con reacción en reactivo de Melzer.
. 11
- 10 Esporas con papilas pequeñas (0,5-1,1 μ m de ancho, 0,5-1,2 μ m de alto y a una
distancia de 0,5-1,1 μ m entre sí), de color amarillo blanco a amarillo claro a cremoso, 65-
100 μ m; Las papilas a menudo desaparecen en los preparados a base de ácido láctico. . .
. *A. papillosa*
CMR Pereira & Oehl
- 10' Esporas con superficie rugosa, generalmente con OWL1 abombado en montantes a
base de ácido láctico, de color subhialino a pajizo, (49-)92 (-118) μ m. *A. rugosa*
JB Morton
- 11 Esporas con pared mucilaginoso, de color amarillo opaco a pálido, 75-90(-100) μ m. . . .
. *A. longula* España y Carolina del Norte
Schenck

- 11' Esporas, sin pared mucilaginosa, de color amarillo brillante, centelleantes con la luz reflejada, 79-92(-120) μm *A. morrowiae* España y Carolina del Norte
Schenck
- 12 Esporas hialinas a blancas brillantes, 145-317 μm *A. splendida* Sieverd. et al.
- 12' Esporas con pared de esporas pigmentadas.
13
- 13 Esporas de color amarillo a color miel a marrón amarillento.
14
- 13' Esporas de color marrón a marrón oscuro, naranja rojizo, marrón anaranjado a marrón rojizo o marrón verdoso.
16
- 14 Esporas generalmente < 150 μm , de color amarillo a amarillo pardusco a marrón amarillento.
15
- 14' Esporas generalmente > 150 μm , (120-)150-300 \times (120-)150-520 μm , color miel, marrón opaco, amarillo a marrón amarillento a marrón oliva. *A. laevis*
Gerd. y Trappe
- 15 Esporas siempre lisas en la superficie, de color amarillo claro a amarillo brillante a marrón amarillento, (95-)105-160 \times (95-)100-150 μm *A. flava* Corazón-Guivin et al.
- 15' Esporas con una superficie lisa a rugosa que a veces se asemeja a una superficie diminuta y picada, (78-)106(-130) μm , de color amarillo intenso a amarillo pardusco.
. *A. dilatata* JB Morton
- 16 Esporas sin reacción de tinción en la pared exterior del reactivo de Melzer.
17
- 16' Esporas con reacción de tinción en la pared exterior en el reactivo de Melzer, esporas de color naranja rojizo, (80-)183(-340) μm , púrpura IW a violeta oscuro en el de Melzer.
. *A. koskei*
Błaszcz.

- 17 Esporas con una capa de pared de esporas hialina externa bastante delgada, evanescente o rara vez semipersistente. 18
- 17' Esporas con una capa de pared de esporas hialina externa gruesa, de semipersistente a persistente, (150-)185(-240) μm , de color marrón oscuro a negro. *A. thomii* Błaszk.
- 18 Esporas sin reacción de tinción de color rosa pálido o solo de color rosa pálido en la pared interior de Melzer. 19
- 18' Esporas con una reacción de tinción de púrpura a púrpura oscuro en IW en Melzer. 21
- 19 esporas (96-)127(-153) \times (99-)132(-158) μm , de color marrón claro a marrón oscuro; IWL2 se tiñe de rosa claro en Melzer's. *A. coreana* EH Lee et al.
- 19' Esporas generalmente > 200 μm 20
- 20 Esporas marrones, 260-330 μm *A. entreriana* MS Velázquez & Cabello
- 20' Esporas de color marrón anaranjado a marrón rojizo oscuro, 180-380 μm *A. colossica* PA Schultz et al.
- 21 Esporas de color marrón amarillo verdoso a marrón verdoso, 140-205 \times 140-193 μm *A. viridis* Palenz et al.
- 21' Esporas de color rojo anaranjado a rojo pimienta, de color marrón anaranjado a marrón rojizo. 22

- 22 Esporas de color rojo anaranjado a rojo pimienta, (170-)298-330 μm
 *A. capsicula*
 Błaszcz.
- 22' Esporas de color marrón anaranjado a marrón rojizo, (109-)123(-138) μm
 *A. fanjing* RJ He
 et al.
- 23 Esporas con papilas, espinas, verrugas, pústulas u otras proyecciones regulares a
 irregulares.
 24
- 23' Esporas con depresiones (hoyos) o pliegues cerebriformes.
 34
- 24 Esporas con proyecciones, pero sin retículo.
 25
- 24' Esporas con proyecciones y un retículo adicional.
 33
- 25 Esporas con papilas, espinas, tubérculos, verrugas, pústulas u otras proyecciones
 regulares.
 26
- 25' Esporas con estructuras tortuosas parecidas a hifas en la superficie que van desde
 subhialinas a amarillo pálido y a veces a amarillo oscuro. Estas estructuras también son
 muy irregulares en longitud (2,6-10,5 (-35) μm), ancho (2,5-7,5 μm , hasta raramente 13
 μm) y altura (2,4-7,5 μm), y las distancias entre sí también son muy irregulares. bastante
 variable (0,0-6,5 μm); esporas de color amarillo anaranjado a marrón anaranjado, 61-84(-
 94) \times 61-80(-91) μm *A. tortuosa*
 Palenz. et al.
- 26 Esporas con papilas, espinas, tubérculos, verrugas o pústulas.
 27
- 26' Esporas con segmentos poligonales inseparables (4-6 \times 5-10 de diámetro y 4-6 μm de
 espesor) y proyecciones circulares a elipsoidales (3-6 \times 3-4 μm de ancho y hasta 3,2 μm
 de alto); cada proyección con una cavidad central; (112-)130-175 μm

- *A. denticulata* Sieverd.
& S. Toro
- 27 Esporas con papilas, espinas, tubérculos o verrugas.
28
- 27' Esporas repletas de pústulas; marrón pálido cuando es joven, volviéndose marrón amarillento con la edad, 45-65(-72) × 44-62(-68) μm *A. pustulata* Palenz. et al.
- 28 Esporas con papilas, espinas o tubérculos.
29
- 28' Esporas con verrugas distribuidas uniformemente o elevaciones aplanadas en OWL2, de hasta 1 μm de altura en la superficie superior, que frecuentemente se deterioran con la edad y luego se vuelven gradualmente invisibles; esporas de color blanco amarillento a amarillo anaranjado, 65-80 μm
..... *A. ignota*
Błaszcz. et al.
- 29 Esporas repletas de papilas, de color amarillo parduzco a marrón amarillento, 125-160 μm ; papilas de aproximadamente 1 μm de ancho y alto.
..... *A. flavopapillosa* Corazón-Guivin et al.
- 29' Esporas con espinas o tubérculos.
30
- 30 Esporas con espinas o tubérculos formadas en capas externas hialinas a subhialinas, evanescentes a (semi) persistentes de OW. 31
- 30' Esporas repletas de finas espinas formadas debajo del OWL1 evanescente en la superficie superior de la capa estructural, laminada y pigmentada; espinas de aproximadamente 1,0 a 2,9 μm de alto, 0,9 a 1,4 μm en la base, puntiagudas hasta 0,5 μm de ancho en la parte superior y <1 μm de separación; esporas de color marrón amarillento a marrón 74-98(-107) × 73-98 μm *A. spinulifera* Oehl et al.
- 31 Capa estructural sobre OW generalmente < 2,5 μm de espesor; esporas de color amarillo claro cuando son jóvenes, tornándose de color amarillo brillante a amarillo pardusco, 120-187 × 116-180 μm ; Línea subhya de la segunda capa evanescente (OWL2)

, densamente poblada de proyecciones espinosas cortas que miden entre 0,5 y 1,1 μm de alto y entre 0,4 y 0,8 μm de ancho en la base.

. *A. spinosissima* Oehl et al.

31' OW generalmente > 2,5 μm de espesor.

32

32 Esporas con espinas finas, densamente organizadas y apiñadas, de 1 a 4 μm de alto, 1 μm en la base y ahusadas a 0,5 μm en la punta; esporas de color marrón amarillento a marrón y raramente marrón oscuro, (110-)140-330 μm *A. spinosa* C.

Walker y Trappe

32' Esporas con tubérculos finos, de 0,7 a 3,5 μm de largo y 1,5 μm de ancho en la base, que se estrechan a 0,7-1,1 en la punta redondeada, distancias irregulares (0,5 a 3 μm) entre tubérculos individuales; esporas de color marrón miel oscuro a negro rojizo, 250-340 μm *A. tuberculata*

Janos & Trappe

33 Retículo con proyecciones poligonales envolventes de tres capas $\pm 1 \times 1 \mu\text{m}$; esporas de color marrón claro a marrón, generalmente de 150 a 200 μm

. *A. bireticulata* FM Rothwell & Trappe

33' Retículo de una capa, superpuesto sobre espinas densamente organizadas y apiñadas $\pm 2 \mu\text{m}$ de alto; esporas de color marrón amarillento a marrón oscuro, 140-330 μm

. *A. elegans* Trappe y Gerd.

34 esporas con hoyos

. 35

34' Esporas con pliegues cerebriformes, de color amarillo claro a marrón, (87-)112-168(-175) μm *A. rehmii* Sieverd. &

S. Toro

35 Esporas en esporocarpos, de color marrón rojizo oscuro a marrón oscuro, de 75 a 80 μm , ornamentación de 0,5 a 1 μm de ancho, hoyos de 4 a 5 lados, de 1,2 \times 0,5 a 1,0 μm de ancho, las crestas forman un retículo de malla. *A.*

Taiwán HT Hu

- 35' Las esporas se formaron individualmente en el suelo, no en los esporocarpos.
36
- 36 Esporas regularmente < 100 μ m
37
- 36' Esporas regularmente > 100 μ m
43
- 37 Pozos de forma irregular.
38
- 37' Pozos de forma redonda regular.
. 40
- 38 esporas con un retículo que forma crestas entre las fosas; las esporas son amarillas, volviéndose en su mayoría de color marrón amarillento cuando maduran, (50-)70-95(-112) μ m, u ocasionalmente elipsoidales u ovoides 79-126 \times 50-92 μ m; OWL2 marrón amarillento, de 2,1 a 3,5 μ m de espesor, uniformemente ornamentado con fosas redondeadas (0,5 a 1,4 μ m) a elípticas, de 1,3 a 1,9 μ m de largo, de 0,9 a 1,4 μ m de ancho y de 0,6 a 2,3 μ m de profundidad; algunas fosas vermiformes o 'ruguladas', de 2,2 a 4,8 μ m de largo y de 0,5 a 1,0 μ m de ancho.
. . *A. herrerae* Furrázola et al.
- 38' Esporas generalmente sin retículo.
39
- 39 Esporas de hialinas a subhialinas y rara vez de color amarillo claro, de 65 a 85 μ m, con hoyos irregulares que se asemejan a pequeños puntos (0,8 a 1,8 μ m) o líneas (0,5 a 1,2 \times 1,8 a 2,5 μ m). *A. sieverdingii* Oehl et al.
- 39' Esporas de color amarillo brillante a amarillo oscuro, con hoyos irregulares, 81-100 \times 75-82 μ m, 0,9-1,5 \times (0,9-)1,5-3,5(-5,5) μ m de ancho y 1,2-2,5 μ m de profundidad.
. *A. nivalis*
Oehl et al.
- 40 Esporas hialinas, subhialinas, de color amarillo pálido a cremoso.
41

- 40' Esporas de color amarillo a marrón anaranjado o de marrón cremoso a marrón claro. .

 .. 42
- 41 Esporas de hialinas a subhialinas, con fosas redondas cóncavas de diámetro máximo < 3,5 μm ; (60-)72(-95) μm ; hoyos de 2,0-2,5 \times 3,0-3,5 μm , vistos en una vista en planta, de 0,8-1,0 μm de profundidad. *A. paulinae* Błaszcz.
- 41' Esporas de color amarillo pálido a cremoso, con hoyos cóncavos, redondos y poco profundos de diámetro más ancho (3,2-)3,5-7,8 μm ; 70-95 \times 60-70 μm
 *A. verna* Błaszcz.
- 42 Esporas de color amarillo a marrón anaranjado, 65-85 μm ; Fosas en forma de cono truncado con un diámetro máximo de 1,5 a 2,2 μm *A. alpina* Oehl et al.
- 42' Esporas de color marrón cremoso a marrón claro, que a menudo aparecen con un tinte grisáceo en el agua, 65-92 μm ; hoyos de aproximadamente 0,8-1,6 \times 0,7-1,4 μm de ancho, 0,6-1,3 μm de profundidad y aproximadamente (1,5-)2,2-5,1 μm de separación.
 *A. baetica* Palenz. et al.
- 43 Pozos de forma irregular.
 44
- 43' Pozos de forma redonda regular.
 46
- 44 Esporas blanquecinas, subhialinas a oliva, amarillo verdoso, turquesa o verde.
 45
- 44' Esporas de color amarillo rojizo a marrón amarillento, 100-180 μm , con hoyos regulares en forma de platillo, 0,2-3 \times 0,2-6 μm *A. lacunosa* JB Morton
- 45 Esporas subhialinas a oliva claro o blanco parduzco, 100, 100-240 \times 100-220 μm ; hoyos circulares a elipsoides a en forma de y, 1,0-1,5 \times 1,0-3,0 μm

- *A. scrobiculata*
- Trappe
- 45' Esporas de color verde o turquesa, rara vez de color verde amarillento, (142-)189 (-244) × (146-)201(-246) μ m; 'numerosos hoyos en forma de cráter', 'hoyos elipsoides poligonales o irregulares', 1,3-2,4 μ m. *A. jejuensis* H. Park y AH Eom
- 46 Esporas regularmente 100-180 μm.
- 47
- 46' Esporas regularmente 185-310(410) × 215-350(480) μm, de color marrón amarillento a marrón amarillento y a veces marrón rojizo, tornándose de marrón a marrón negro con la edad, con hoyos redondos cóncavos, 3,5-8,5(-12) × 3,5-12,5(-16) μm.
- *A. foveata* Trappe & Janos
- 47 Pozos regularmente < 2,0 μ m
- 48
- 47' Pozos regulares > 2,0 μ m
- 50
- 48 Pozos con una separación de sólo 1,0-1,5(-1,8) μ m, 0,4-0,7 μ m de diámetro y hasta 0,8 μ m de profundidad; esporas esporas de color amarillo a marrón amarillento, (120-)135-195 × (120-)130-187 μ m. *A. aspera* Corazón-Guivin et al.
- 48' Pozos individuales generalmente separados por distancias mayores a 1,5 μm. . . 49
- 49 Esporas subhialinas a blanco amarillentas, 105-129 μm, hoyos de 1,1-2,0 (-2,7) μm de ancho y al menos tan profundos (1,4-3,5 μm) como de ancho; hoyos separados entre 2,0 y 3,2 μm. *A. punctata* Oehl et al.
- 49' Esporas de color amarillo anaranjado brillante a marrón anaranjado, de 150 a 220 μm, repletas de hoyos diminutos, de 0,5 a 1,2 (-1,8) μm de ancho y de 0,5 a 1,1 μm de profundidad, y a una distancia de 1,5 a 2,5 (-3,5) μm. *A. minuta* Oehl et al.

- 50 Esporas sin hoyos pequeños y crestas dentro de los hoyos grandes.
.51
- 50' Espora con hoyos pequeños secundarios (aprox. 0,5 μm de ancho y profundidad) y crestas finas dentro de hoyos grandes de forma irregular, a menudo con bordes a veces en forma de mancuerna (5,5-19 \times 3,5-8,6 μm); espora de color amarillo blanquecino, de amarillo oscuro a marrón claro, 135-205 μm *A. reducta*
Oehl et al.
- 51 Esporas de color marrón amarillento, de 115 a 170 μm , con hoyos redondos cóncavos, de 2,5 a 5,0 μm de diámetro y de 1,7 a 2,5 μm de profundidad. *A. cavernata*
Błaszcz.
- 51' Esporas de color ocre a marrón, 100-180(-200) μm , con hoyos redondos cóncavos, 4-20 μm de diámetro y 2-6 μm de profundidad. *A. excavata* Ingleby y C.
Walker
- 52 Se describió que las esporas se formaban lateralmente sobre o dentro del cuello del sáculo esporífero, mientras que el sáculo nunca fue observado; esporas hialinas o subhialinas a amarillo pálido, 75-140 μm ; OWL1 cubierto con protuberancias hialinas a subhialinas, hemisféricas, espaciadas irregularmente, de 0,5 a 3 μm de ancho y hasta 1 μm de alto. *A. colliculosa*
Kaonongbua et al.
- 52' Las esporas se forman exclusivamente intrahifalmente dentro del cuello del sáculo esporífero.
53
- 53 Esporas con una cicatriz proximal fuerte, que continúa desde unas pocas a varias μm hasta el cuello del sáculo.
. 54
- 53' Esporas con una cicatriz proximal fina, que se asemeja a un anillo y no continúa hacia el cuello del sáculo.
. . 55
- 54 Esporas con superficies lisas, de amarillo pálido a marrón amarillento, 64-74 \times 84-99 μm *A. tsugae* TC Lin &
Oehl

54' Esporas con ornamentación de esporas picadas, de amarillo pálido a marrón amarillento, 85-140 × 95-210 µm; hoyos de 1 a 3 µm de diámetro y de 0,7 a 1,7 µm de profundidad, separados por crestas de 2 a 6 µm de ancho.

. *A. kentinensis* (CG Wu y YS Liu)
Kaonongbua et al.

55 Esporas con superficies lisas, de color amarillo pálido a marrón dorado claro, (75-100-115(-135) µm.

. *Kuklospora colombiana* (España y Carolina del Norte Schenck) Oehl & Sieverd.

55' Esporas con ornamentación de esporas espinosas, subhialinas a blanco amarillentas, 100-250 µm; OWL2 repleto de espinas finas, de 2 a 3 µm de alto y 0,5 µm de diámetro. . .

. *K. spinosa* BP Cai
et al.

Diversidad de hongos
micorrízicos arbusculares
asociados a pitahayas nativas y
exótica (*Hylocereus* spp.) en
San Martín, Perú

por Jhoon Gerly Heredia Montalvo

Fecha de entrega: 16-feb-2024 01:04p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2296523092

Nombre del archivo: INFORME_FINAL_DE_TESIS_JHOON_GERLY_HEREDIA_MONTALVO_16-02.docx (7.87M)

Total de palabras: 30162

Total de caracteres: 138116

Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares asociados a pitahayas nativas y exótica (*Hylocereus* spp.) en San Martín, Perú

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	20%	6%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	ojs.openagrar.de Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	1%
6	www.dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.smcsmx.org Fuente de Internet	<1%
8	www.scielo.org.mx Fuente de Internet	<1%